

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до самостійного вивчення навчальної дисципліни  
**СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

*(для студентів усіх форм навчання  
освітнього рівня «бакалавр» зі спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електротехнології)*

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2020**

Методичні рекомендації до самостійного вивчення навчальної дисципліни «Споживачі електричної енергії» (для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр» зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електротехнології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. В. М. Охріменко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 56 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. В. М. Охріменко,

Рецензент

**В. А. Малярєнко**, доктор технічних наук, професор кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 7 від 25 лютого 2020 р.*

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	
В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....	5
Тема 1 Системний підхід до аналізу споживачів електричної енергії .....	5
Тема 2 Характеристика споживачів електричної енергії .....	8
Тема 3 Режими роботи приймачів електричної енергії .....	12
Тема 4 Вплив системи електропостачання на роботу електроспоживачів ...	14
Тема 5 Вплив електроспоживачів на роботу системи електропостачання .....	18
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ХАРАКТЕРНІ ГРУПИ СПОЖИВАЧІВ	
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ .....	22
Тема 6 Електричні машини як приймачі електричної енергії .....	22
Тема 7 Електроприймачі нагрівального устаткування .....	27
Тема 8 Електроосвітлювальне устаткування .....	31
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ	
МІСТ І ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ .	37
Тема 9 Електрозварювальне устаткування .....	37
Тема 10 Електроспоживачі будівельних майданчиків .....	41
Тема 11 Електроспоживачі промислових підприємств .....	44
Тема 12 Електроспоживачі систем життєзабезпечення міст .....	47
Тема 13 Електроспоживачі інженерних систем будинків .....	51
Тема 14 Електроприймачі житлових будинків .....	52
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ .	55

## ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Споживачі електричної енергії» є надання студентам знань щодо фізичних процесів у основних характерних групах споживачів електричної енергії, практичних навичок аналізу впливу електроприймачів на режим роботи системи електропостачання та вмінь виконувати розрахунки окремих ділянок електричних мереж з урахуванням специфіки обладнання.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Споживачі електричної енергії» є формування у студентів належного рівня знань та умінь дослідження процесів, що відбуваються в системах споживання електричної енергії, вивчення сучасних підходів до аналізу чинних і проектування нових систем та освоєння методів та заходів зниження впливу електроприймачів на показники якості електричної енергії.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент має

**знати:**

- теоретичні основи перетворення електричної енергії в інші види енергії;
- електротехнічні характеристики споживачів та класифікацію приймачів електроенергії;
- особливості режимів характерних груп електроприймачів;
- фактори впливу електроприймачів на якісні показники електричної мережі;

**вміти:**

- аналізувати особливості роботи споживачів;
- оцінювати вплив роботи приймачів на якісні показники електричної мережі;
- визначити можливі напрямки зниження впливу роботи приймачів на якісні показники електричної мережі;

**мати компетентності:**

- брати участь у розробці та впровадженні сучасних методів, засобів й технологій підвищення ефективності функціонування електроспоживачів;
- підвищувати фаховий рівень шляхом опанування новітніх методів оцінки роботи обладнання;
- використовувати нормативно-довідкові матеріали для проведення лабораторних та практичних робіт;
- виконувати виміри сучасними приладами показників якості електроенергії на об'єктах досліджень, розраховувати режими роботи приймачів електроенергії;
- розробляти заходи щодо зменшення негативного впливу споживачів на якість електричної енергії.

# ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

## СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### Тема 1 Системний підхід до аналізу споживачів електричної енергії

#### *Програмна анотація теми:*

- 1.1 Основні поняття і визначення.
- 1.2 Споживачі електричної енергії в системі «Електроенергетика».
- 1.3 Система «Споживач електричної енергії».
- 1.4 Взаємодія електроспоживачів і джерел електричної енергії.
- 1.5 Модельне представлення систем і їхніх складових.

**Ключові поняття:** система, підсистема, елемент, процес, принцип (багатоплановості, ієрархічності, багатомірності, цілісності, максимуму ефективності), об'єднана енергетична система, електроспоживач, електроприймач, чорний ящик

**Література:** [7, С. 12–20], [8, С. 11–12], [9, С. 10–18, 25–26, 59–64].

#### *Основні положення теми*

Дисципліну «Споживачі електричної енергії» вивчаємо спираючись на методологію системного аналізу. Основні категорії теорії систем наступні.

**Система** – виділена із середовища сукупність матеріальних або абстрактних об'єктів, явищ, процесів, які мають певний набір властивостей, і взаємодія яких забезпечує досягнення деякої функції протягом певного часу.

**Підсистема** – виділена в межах системи сукупність складових, які мають певний набір властивостей, і взаємодія яких забезпечує реалізацію деякої складової функції системи. Ця функція розглядається як підфункція (складова) функції системи.

**Елемент** (системи, підсистеми) характеризується тим, що в межах дослідження він не поділяється на складові, а його взаємодія з іншими елементами або підсистемами даної системи забезпечує реалізацію деякої підфункції загальної функції системи.

**Процес** – сукупність послідовних дій (зміни стану або значень параметрів складових системи), для досягнення певного результату (реалізації функції системи).

Розглядаючи методологію системного аналізу звертаємо увагу на важливі принципи системного аналізу [7]: багатоплановості, ієрархічності, багатомірності, цілісності, максимуму ефективності системи.

Модель системи «Електроенергетика» з погляду системного аналізу, яка полегшує вивчення дисципліни «Споживачі електричної енергії» наведена на рисунку 1.1.

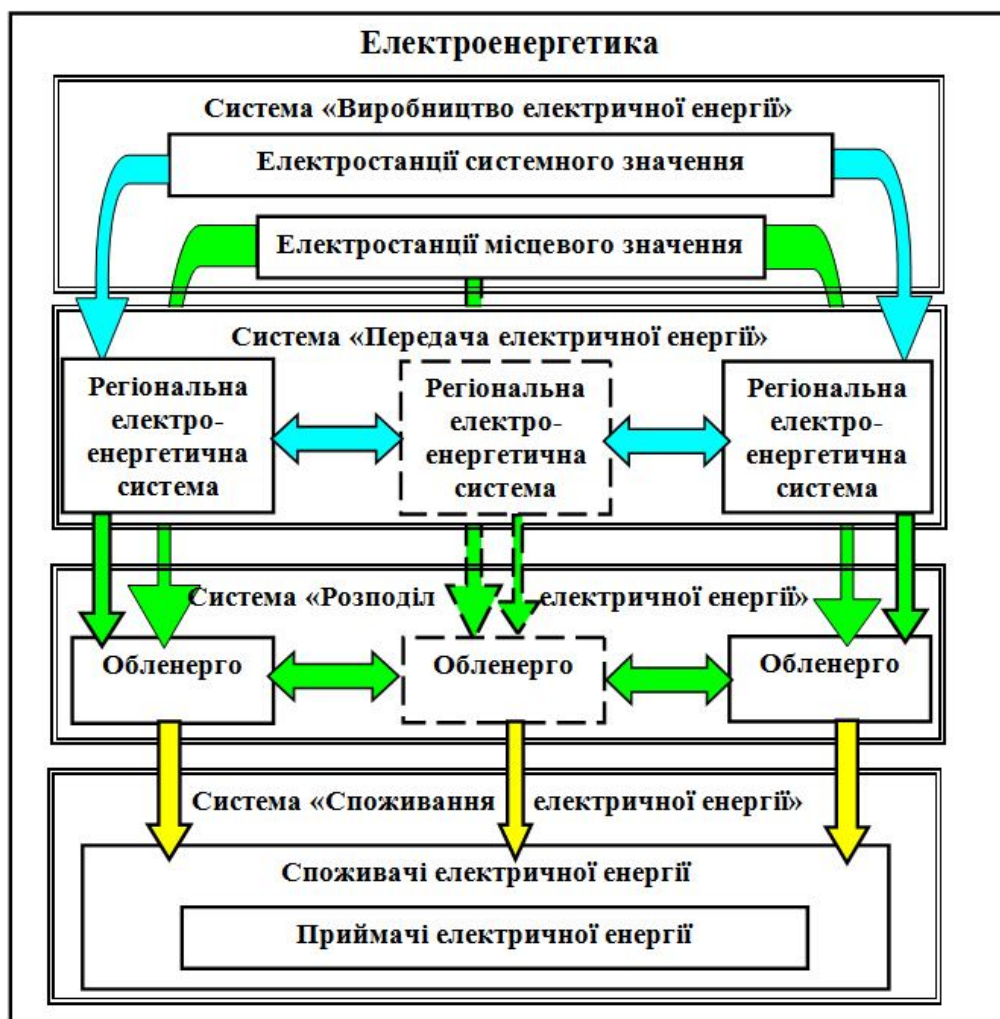


Рисунок 1.1 – Модель системи «Електроенергетика»

У межах вивчення курсу ми виокремлюємо системи (підсистеми) розподілу постачання і споживання електричної енергії.

**Приймач електричної енергії** (електроприймач) – апарат, агрегат, механізм, призначений для перетворення електричної енергії в інший вид енергії.

**Споживач електричної енергії** (електроспоживач) – електроприймач або група електроприймачів, об'єднаних технологічним процесом, які розміщуються на певній території.

Важливим також є розуміння системи (підсистеми) «Електропостачання споживачів» (рис. 1.2), яка дозволяє наочно розглядати процеси взаємодії джерел електричної енергії, розподільних електричних мереж і електроспоживачів та електроприймачів.

Одним з ефективних підходів методології системного аналізу є заміна реального об'єкта дослідження його моделлю, яка зазвичай є спрощеним поданням об'єкта за умови її моделюючої подібності за встановленими критеріями. Досліджуваній об'єкт представляється як сукупність характерних для завдання дослідження складових об'єкта та зв'язків між ними.

Найбільш узагальненою моделлю будь-якої системи є модель типу «чорний ящик», графічне представлення якої подане на рисунку 1.3.

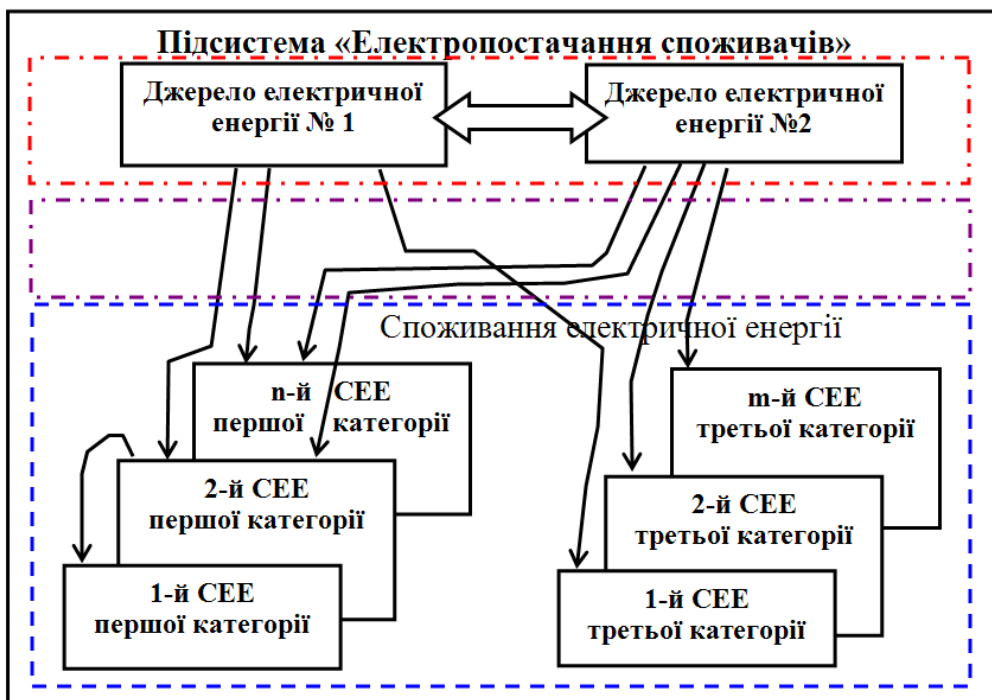


Рисунок 1.2 – Підсистема «Електропостачання споживачів»

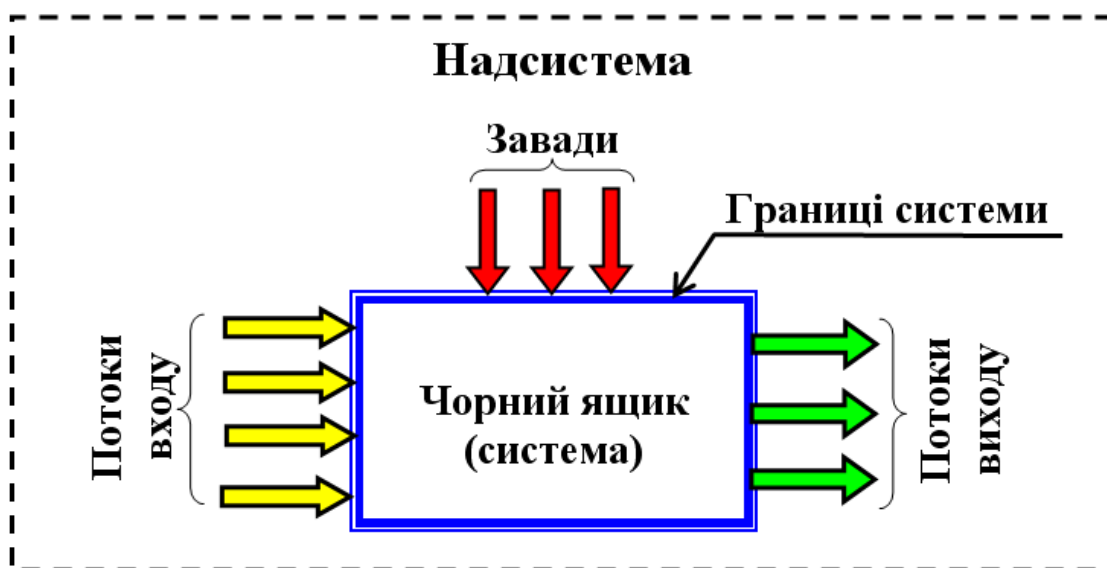


Рисунок 1.3 – Модель системи типу «Чорний ящик»

### ***Висновки за розглянутою темою***

Системний підхід є ефективним інструментарієм дослідження взаємодії джерел і споживачів електричної енергії.

Виділення із множини складових розподільних електричних мереж елементів, які утворюють систему «Електропостачання споживача» і систему «Споживач

ЕЕ», забезпечує дослідження як впливу параметрів системи «Електропостачання споживача» на ефективність функціонування електроспоживача, так і впливу параметрів і режиму роботи споживача ЕЕ на ефективність функціонування системи його електропостачання.

### ***Контрольні запитання за темою 1:***

1. Поясніть методологічні особливості системного підходу щодо дослідження споживачів електричної енергії.
2. Поясніть поняттям система, підсистема (надсистема), елемент. Наведіть приклади.
3. Якою є структура системи «Електроенергетика»?
4. Поясніть відмінність понять «електроприймач» і «електроспоживач» із погляду системного аналізу.
5. Наведіть приклади складових системи розподілу електричної енергії.
6. У чому полягає доцільність виділення підсистеми «Електропостачання споживачів»?
7. У яких випадках застосовують моделі типу «Чорний ящик»?
8. Опишіть електроспоживача «Промислове підприємство» за допомогою моделі типу «Чорний ящик».
9. Назвіть складові системи «Електропостачання споживачів». Поясніть їхні функції.
10. Поясніть, чим різняться поняття система «Розподіл електричної енергії» і «Електропостачальна система».

## **Тема 2 Характеристика споживачів електричної енергії**

### ***Програмна анотація теми:***

- 2.1 Загальні відомості про електроспоживачів.
- 2.2 Класифікація електроспоживачів.
- 2.3 Параметри та характеристики електроприймачів.

**Ключові поняття:** надійність електропостачання, категорія надійності електропостачання, особлива група надійності електропостачання, номінальна потужність, якість електричної енергії, усталене відхилення напруги, розмах зміни напруги, доза флікера, несинусоїдальність напруги, несиметрія напруги, відхилення частоти, провал напруги, імпульс напруги, тимчасова перенапруга.

**Література:** [1, С. 22–44], [4, С. 2–5], [5, С. 14–23], [7, С. 21–34], [8, С. 13–15], [9, С. 34–38, 59–61].



## Основні положення теми

Важливо прояснити два підходи до розгляду системи: від елемента до системи (знизу на гору) і від системи до елемента (згори до низу).

Розгляд від простого до складного ілюстровано рисунками 2.1 та 2.2.

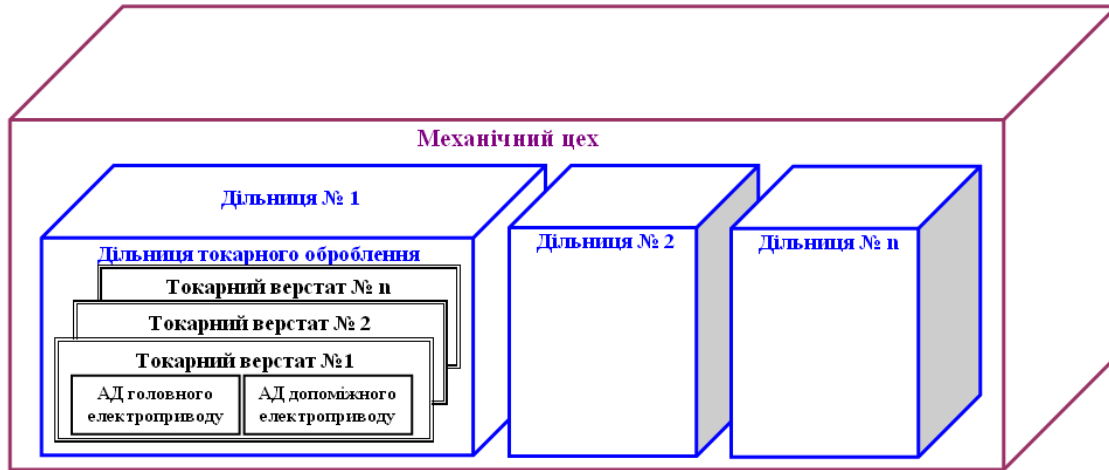


Рисунок 2.1 – Модель складу системи «Промислове підприємство»: 1–3 рівні укрупнення

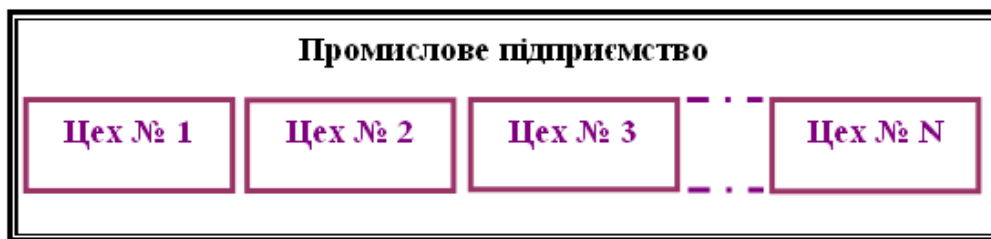


Рисунок 2.2 – Модель складу системи «Промислове підприємство»: 4-й рівень укрупнення

Підхід від складного до простого є характерним для методології системного аналізу і ефективно використовується при дослідженні систем, зокрема в галузі енергетики.

При дослідженні електроприймачів важливим фактором є підхід до їхньої класифікації. Признак класифікації здебільшого визначається методом дослідження. Основні наступні підходи до класифікації електроприймачів:

- виробниче призначення;
- режим роботи;
- потужність і напруга;
- вид струму;
- ступінь надійності живлення;
- територіальне розміщення;
- щільність навантаження;
- постійність розташування.

**Надійність електропостачання** – здатність системи електропостачання забезпечити споживачів електроенергією, що відповідає вимогам якості, без аварійних перерв у електропостачанні і порушень технологічного процесу споживача.

**Категорії надійності електроприймачів** – визначення і вимоги сформульовані у ПУЕ [8] та ДБН [3].

**Перша категорія** – електроприймачі, переривання електропостачання яких може спричинити: небезпеку для життя людей, значний матеріальний збиток споживачам електричної енергії (пошкодження дорогого основного обладнання, масовий брак продукції), розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства.

В складі електроприймачів першої категорії виділяється **особлива група** електроприймачів, безперебійна робота яких необхідна для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрозі життю людей, вибухам, пожежам і пошкодженням високовартісного основного обладнання, втраті важливої інформації.

**Друга категорія** – електроприймачі, перерва електропостачання яких призводить до масового недовипуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських і сільських жителів.

Електроприймачі **третьої категорії** – решта електроприймачів, що не підпадають під визначення першої та другої категорій.

**За величиною напруги** електроприймачі поділяють на дві групи: до 1 000 В і понад 1 000 В.

**З родом струму** розрізняють електроприймачі постійного та змінного струму.

Важливим також є поділ за функціональною ознакою. Це такі групи:

- промислові та прирівняні до них електроспоживачі;
- електрифікований залізничний транспорт;
- електрифікований міський транспорт;
- непромислові споживачі;
- сільськогосподарські споживачі;
- споживачі комунального господарства міст;
- побутові споживачі.

Вивчаючи питання параметри та характеристики електроприймачів, важливо розуміти, що **параметр** – це властивість (показник) системи, яку можна вимірити. Результатом вимірювання параметра системи є число (величина параметра).

Розгляд будь-якого електроприймача передбачає дослідження його номінальних параметрів, тобто параметрів електротехнічного пристрою які зазначені виробником і при яких пристрій працює з зазначеною ефективністю та стосовно до яких визначаються відхилення. Серед множини номінальних параметрів різноманітних електроприймачів насамперед розглядають такі: номінальні напруга, струм і потужність, коефіцієнт активної потужності.

**Характеристику** системи зазвичай розглядають як функціональну залежність між двома або більшою кількістю параметрів системи.

На рисунку 2.3 показана модель взаємодії електроприймача та системи електропостачання, яка дозволяє розглядати параметри та характеристики електроприймача та системи електропостачання та досліджувати вплив системи на електроприймача та електроприймача на систему.

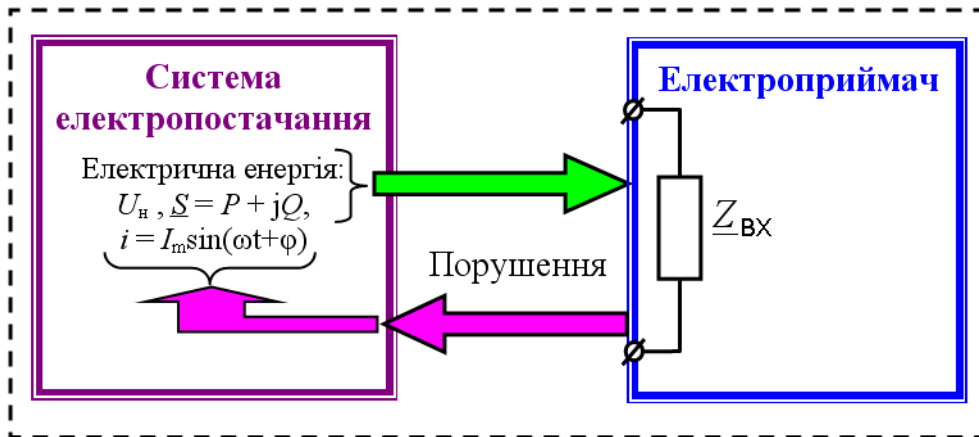


Рисунок 2.3 – Модель взаємодії електроприймача й системи електропостачання

### **Висновки за розглянутою темою**

Класифікацій приймачів і споживачів ЕЕ дуже багато. Класифікаційну ознаку вибирають залежно від мети дослідження взаємодії електроспоживача й системи його електропостачання. Характерними групами електроспоживачів є міста й промислові підприємства.

Дослідження електроприймачів базується на розгляді їхніх параметрів та характеристик.

Номінальні параметри електроприймача забезпечують його роботу з показниками, гарантованими виробником.

Характеристики електроприймача дають уявлення про фізику його внутрішніх процесів, дозволяють оптимізувати його режим роботи, зменшити вплив на показники якості ЕЕ системи електропостачання.

### **Контрольні запитання за темою 2:**

1. Наведіть приклад структуризації системи «СЕЕ» «від простого до складного».
2. Наведіть приклад структуризації системи «СЕЕ» «від складного до простого».
3. Що розуміють під рівнем структуризації (деталізації) системи?
4. Наведіть приклад вибору підходу до класифікації електроприймачів (електроспоживачів).

5. На які групи поділяють електроприймачів за ступенем надійності електропостачання? Надайте загальне визначення цих груп.
6. На які групи поділяють електроприймачів за ступенем та величиною напруги?
7. Надайте приклади класифікації електроприймачів за ознаками фізичних параметрів.
8. Надайте приклади класифікації електроприймачів за функціональними ознаками.
9. Що розуміють під поняттям «параметр»? Наведіть приклади параметрів електроприймачів.
10. Надайте визначення номінального параметра.
11. Наведіть приклади номінальних параметрів декількох електроприймачів.
12. Яка різниця між номінальною напругою електроприймача й номінальною напругою системи живлення електроприймача?
13. У чому полягає перевага трифазних електроприймачів у порівнянні з однофазними?
14. Чим різняться потоки входу й виходу системи «Приймач електричної енергії»?
15. У чому полягає особливість пускових характеристик електроприймача?

### **Тема 3 Режими роботи приймачів електричної енергії**

#### ***Програмна анотація теми:***

- 3.1 Режими за тривалістю вмикання.
- 3.2 Режими за усталеністю параметрів.
- 3.3 Режими за ступенем аварійності.
- 3.4 Режими схем вмикання трифазних електроприймачів.
- 3.5 Порівняння умов роботи споживача при з'єднанні його фаз «зіркою» й «трикутником».
- 3.6 Неповнофазні режими трифазних електроспоживачів.

**Ключові поняття:** режим роботи (короткочасний, тривалий, переривчато-тривалий, повторно-короткочасний, усталений, перехідний, пусковий, нормальний, анормальний, перевантаження, короткого замикання, симетричний, несиметричний, неповнофазний), схеми вмикання («зірка» без нульового проводу, «зірка» з нульовим проводом, «трикутник»), потужність трифазного електроспоживача.

**Література:** [7, С. 35–48].

## **Основні положення теми**

Відомі такі підходи щодо розгляду режимів роботи: за тривалістю вмикання, за усталеністю параметрів, за ступенем аварійності, за схемою вмикання трифазних електроприймачів, за рівномірністю навантаження фаз тощо.

Розгляд приймачів ЕЕ як систем і застосування принципів багатоаспектності і багатомірності щодо вивчення їхніх режимів роботи дає змогу зосередити увагу на факторах впливу приймачів ЕЕ на режим роботи та якісні показники електричної енергії в системі електропостачання.

Основним експлуатаційним режимом роботи електроприймачів є **номінальний режим**, у якому значення кожного з параметрів режиму дорівнюють номінальним. Це режим роботи, на який електроприймач запроектований і виготовлений для експлуатації.

За даними номінальних параметрів розраховуються елементи системи електропостачання електроприймача (апаратура вмикання-вимикання, управління режимом роботи, захисту від аварійних режимів, переріз проводів (кабелів) живлення.

За тривалістю вмикання розрізняють короткочасний, тривалий, преривчасто-тривалий та повторно-короткочасний режими. Для визначення режиму розглядають криву нагрівання електроприймача (зміну температури в електроприймачі).

З погляду усталеності параметрів електроприймача і режиму розрізняють режими усталений, перехідний і пусковий.

За ступенем аварійності режими поділяють на нормальний, анормальний, аварійний, перевантаження та режим короткого замикання.

Особливу увагу потрібно надати вивченню режимів роботи схем вмикання однофазних електроприймачів у трифазну мережу. Вияснити розрахункові співвідношення для визначення значень струмів, напруг та потужностей в елементах схеми електропостачання споживачів.

Потрібно розглянути особливості режимів схем «зірка без нульового проводу», «зірка з нульовим проводом», «трикутник».

Неповнофазні режими (обрив навантаження в одній з фаз і коротко замикання однієї з фаз) – це характерні аварійні режими практики експлуатації систем електропостачання які потребують уважного розгляду і вивчення.

## **Висновки за розглянутою темою**

За тривалістю вмикання розрізняють такі режими роботи електроприймачів: короткочасний, тривалий, преривчасто-тривалий, повторно-короткочасний.

За усталеністю параметрів розрізняють пусковий, перехідний і усталений режими роботи електроприймачів.

За ступенем аварійності розрізняють нормальний, анормальний і аварійний режими. Аварійний режим поділяють на режим перевантаження й режим короткого замикання.

У трифазних мережах електроприймачі вмикають за схемами: «зірка» без нульового проводу, «зірка» з нульовим проводом і «трикутник».

У разі перемикання фаз електроприймача з «трикутника» на «зірку» його потужність зменшиться в три рази.

Неповнофазні режими характеризують несиметрією напруг на фазах електроспоживача.

### ***Контрольні запитання за темою 3:***

1. Поясніть підходи до класифікації режимів роботи електроприймачів.
2. Що розуміють під номінальним режимом роботи електроприймача?
3. Чим характеризується класифікація режимів за тривалістю вмикання?
4. Як визначається розрахункова потужність у випадку повторно-короткочасного режиму роботи?
5. Як виконується захист електроприймачів від режиму перевантаження?
6. Як виконується захист електроприймачів від режиму короткого замикання? У чому відмінність у порівнянні із захистом від перевантаження?
7. Поясніть особливості схеми «зірка» без нульового проводу. Коли використовується ця схема?
8. Поясніть особливості схеми «трикутник». Коли використовують цю схему?
9. Поясніть особливості схеми «зірка» з нульовим проводом. Які вимоги щодо встановлення елементів захисту в цій схемі?
10. Порівняйте умови роботи споживача у разі з'єднання його фаз «зіркою» й «трикутником».
11. Поясніть умови появи неповнофазних режимів. У чому полягають особливості цих режимів?

## **Тема 4 Уплив системи електропостачання на роботу електроспоживачів**

### ***Програмна анотація теми:***

- 4.1 Показники якості електричної енергії.
- 4.2 Усталене відхилення напруги.
- 4.3 Коливання напруги.
- 4.4 Несинусоїдальність напруги.
- 4.5 Несиметрія напруги.
- 4.6 Відхилення частоти.
- 4.7 Провал напруги.
- 4.8 Імпульс напруги й тимчасова перенапруга.

**Ключові поняття:** якість електричної енергії, усталене відхилення напруги, розмах зміни напруги, доза флікера, несинусоїдальність напруги, несиметрія напруги, відхилення частоти, провал напруги, імпульс напруги, тимчасова перенапруга.

**Література:** [7, С. 49–66].

### **Основні положення теми**

Функціонування електроприймачів з розрахунковими (паспортними) характеристиками і економічними показниками забезпечується якщо електрична енергія відповідає нормативним вимогам, які називаються показниками якості.

**Якість електричної енергії** – це ступінь відповідності параметрів електричної енергії їхнім установленим значенням. Вона визначається показниками, які регламентують припустимі рівні впливу електромагнітних завад на параметри електричної енергії (відхилення параметрів від нормованих значень). Показники якості ЕЕ зазначені у Міждержавному стандарті Е02 ГОСТ 13109-97. Цим стандартом встановлено два види відхилень від норм якості електричної енергії: нормально припустимі й гранично припустимі (див. табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Показники якості електричної енергії

Назва показника	Умовне позначення	Припустимі відхилення	
		нормальні	граничні
Основні показники			
Усталене відхилення напруги, %	$\delta U_y$	$\pm 5$	$\pm 10$
Розмах коливання напруги, %	$\delta U_t$	—	$\pm 10$
Доза флікера, відносні одиниці	$P_t$	1,37	1,0
Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги	$K_U$	таблиця 4.4	—
Коефіцієнт $n$ -ої гармонійної складової напруги	$K_{U(n)}$	—	—
Коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю, %	$K_{2U}$	2	4
Коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю, %	$K_{0U}$	2	4
Відхилення частоти, Гц	$\Delta f$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$
Додаткові показники			
Тривалість провалу напруги у мережах до 10 кВ, с	$\Delta t_{\Pi}$	—	30
Імпульсна напруга	$U_{\text{имп}}$	—	—
Коефіцієнт тимчасової перенапруги	$K_{\text{пер}U}$	—	—

## Висновки за розглянутою темою

Дотримання нормативних значень показників якості електричної енергії дозволяє забезпечити функціонування електроприймачів із характеристиками, гарантованими виробниками цього устаткування.

Причини змінювання напруги у вузлах системи «Електропостачання споживачів» з боку самої системи:

- добові зміни електричного навантаження споживачів;
- змінювання схеми й параметрів електричних мереж (заплановані та незаплановані);
- регулювання напруги у вузлах мережі (генератори електростанцій, підстанції енергосистеми).

Відхилення напруги визначається як різниця між діючим  $U$  і номінальним значеннями напруги  $U_{\text{ном}}$ :

- абсолютне відхилення, В:

$$\Delta U = U - U_{\text{ном}}; \quad (4.1)$$

- відносне відхилення, %:

$$\delta U = \frac{U - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} 100 \%. \quad (4.2)$$

У системі електропостачання основними причинами відхилень напруги від номінальних значень є:

- порушення балансів добового графіка активної й реактивної потужності у вузлах системи;
- недосконалість засобів місцевого регулювання напруги;
- наявність однофазних навантажень і їх розподіл за фазами системи електропостачання і т. ін.

Коливання напруги характеризуються двома показниками: **розмахом зміни напруги  $\delta U_t$**  і **дозою флікера  $P_f$** .

**Розмах зміни** напруги  $\delta U_t$  обчислюють за формулою:

$$\delta U_t = \frac{(U_i - U_{i+1})}{U_{\text{ном}}} 100, \%. \quad (4.3)$$

**Доза флікера** (від англ. flicker – мерехтіння) – це міра сприйняття людиною коливань світлового потоку штучних джерел світла, спричинених коливаннями напруги електричної мережі за встановлений час.

Для зниження коливань напруги використовують такі засоби:

- пристрої повздовжньої компенсації;
- синхронні генератори з автоматичним регулюванням збудження;
- роздільне живлення статичних й різко змінних навантажень.

Електроприймачі системи споживання ЕЕ є основним фактором порушення синусоїдальності змінного струму. Це такі електроприймачі, як електродугові й руднотермічні печі, індукційні печі, вентильні перетворювачі змінного струму в постійний, обладнання електродугового й контактного зварювання. Ці



електроприймачі характеризуються великою потужністю споживання ЕЕ при нелінійності їхньої вольт-амперної характеристики. Електронні приймачі ЕЕ та газорозрядні лампи створюють невисокий рівень гармонійних складових, але їхня кількість велика і за певних обставин вплив може бути суттєвим.

Стандартом визначено два показники несинусоїдальності напруги: коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги ( $K_u$ ) і коефіцієнт  $n$ -ої гармонійної складової напруги  $K_{U(n)}$ .

**Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги ( $K_u$ , %)** визначається за виразом:

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_{(1)}} 100, \quad (4.4)$$

де  $U_{(n)}$  – діюче значення  $n$ -ої гармонічної складової напруги, В;

$n$  – порядок гармонічної складової напруги;

$N$  – порядок останньої гармонічної складової, що береться до уваги, стандартом встановлено  $N = 40$ ;

$U_{(1)}$  – діюче значення напруги основної частоти, В.

**Коефіцієнт  $n$ -ої гармонійної складової напруги ( $K_{U(n)}$ , %)** розраховують так:

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} 100. \quad (4.5)$$

Зменшення несинусоїдальності забезпечується такими заходами:

– зменшенням рівня вищих гармонік від перетворювачів шляхом збільшення числа фаз і використання спеціальних схем перетворення та керування ними;

– раціональною побудовою схеми мережі (живлення нелінійних навантажень від окремих ліній і трансформаторів, використання фільтрів).

Несиметрія напруг характеризується коефіцієнтом несиметрії напруг за зворотною послідовністю  $K_{2U}$  і коефіцієнтом несиметрії напруг за нульовою послідовністю  $K_{0U}$ .

**Коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю –**

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100, \%, \quad (4.6)$$

де  $U_{2(1)}$  – діюче значення напруги зворотної послідовності основної частоти трифазної системи напруг, В;

$U_{1(1)}$  – діюче значення напруги прямої послідовності основної частоти, В.

## ***Висновки за розглянутою темою***

Дотримання нормативних значень показників якості електричної енергії дозволяє забезпечити функціонування електроприймачів із характеристиками, гарантованими виробниками цього устаткування.

### ***Контрольні запитання за темою 4:***

1. Поясніть поняття якості електричної енергії.
2. Що розуміють під усталеним відхиленням напруги? Назвіть припустимі значення усталеного відхилення напруги
3. Які основні фактори впливу відхилення напруги на роботу електроприймачів?
4. Що розуміють під коливаннями напруги? Що їх спричиняє?
5. Як обчислюється розмах зміни напруги?
6. Якими міркуваннями пояснюється введення показника «доза флікера»? Які нормативні значення дози флікера?
7. Якими показниками нормується відповідність напруги синусоїдальній формі?
8. У чому полягають негативні наслідки появи гармонійних складових?
9. Які нормативні вимоги до симетрії фазних напруг?
10. Які заходи забезпечують зменшення несиметрії фазних напруг?
11. Які причини відхилення частоти від номінального значення? У чому проявляється у електроспоживача негативний вплив відхилення частоти?
12. Які причини провалу напруги?
13. Якими показниками характеризується імпульс напруги й тимчасова перенапруга?

## **Тема 5 Уплив електроспоживачів на роботу системи електропостачання**

### ***Програмна анотація теми:***

- 5.1 Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$ .
- 5.2 Несиметрія навантаження.
- 5.3 Нелінійність вольт-амперних характеристик.

**Ключові поняття:** коефіцієнт потужності, несиметрія навантаження, зміщення нейтралі, неповнофазна робота, симетрування напруги, пристрій симетрування, характеристика (вольт-амперна, нелінійна).

**Література:** [1, С. 263–275], [6, С. 101–106], [7, С. 67–81].

### **Основні положення теми**

**Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$**  показує, як використовується номінальна потужність джерела.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi. \quad (5.1)$$

Робота споживача з малим коефіцієнтом потужності, крім погіршення умов економічного використання джерела живлення, призводить до збільшення потужності втрат у лінії передачі електричної енергії від джерела до споживача. Якщо опір провідів цієї лінії живлення  $R_{\text{л}}$  то потужність втрат у ній

$$\Delta P_{\text{втр}} = R_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}}^2 = R_{\text{л}} \cdot \frac{P_{\text{сп}}^2}{U_{\text{сп}}^2 \cos^2 \varphi}, \quad (5.2)$$

де  $I_{\text{л}}$  – струм у лінії живлення споживача;

$U_{\text{сп}}$  – напруга на введеннях споживача;

$P_{\text{сп}}$  – активна потужність споживача.

Потужність втрат, як видно з (5.2), тим більша, чим нижче  $\cos\varphi$  електроспоживача. Отже, **чим менше  $\cos\varphi$  електроспоживача, тим дорожча передача до нього електроенергії.**

Щоб збільшити економічність роботи елементів розподілу ЕЕ (зменшити втрати потужності), вживають заходів щодо підвищення коефіцієнта потужності споживачів. Цього можна досягти шляхом увімкнення паралельно з електроприймачем конденсаторної батареї, струм якої має ємнісний характер.

**Коефіцієнт реактивної потужності** споживача після компенсації  $\text{tg}\varphi_{\text{л}}$  фактично є коефіцієнтом реактивної потужності в лінії живлення споживача, втрати в якій зменшуються внаслідок зменшення струму від  $I_{\text{сп}}$  до  $I_{\text{л}}$ .

Проблема зменшення споживаної реактивної потужності на практиці вирішується шляхом застосування комплексу організаційно-технічних заходів. До **основних заходів організаційного характеру** відносяться наступні:

- заміна мало завантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності;
- зниження напруги для двигунів, що систематично працюють з малим навантаженням;
- обмеження неробочого режиму двигунів;
- застосування синхронних двигунів замість асинхронних у випадках, коли це можливо за умовами технологічного процесу;
- заміна мало завантажених трансформаторів.

**Заходи технічного характеру** полягають у застосуванні пристроїв компенсації реактивної потужності, до яких належать статичні конденсатори, синхронні двигуни та синхронні генератори, синхронні компенсатори.

Окремого розгляд у потребує питання симетрії навантаження трифазної розподільної мережі. За умови, що система електропостачання забезпечує спо-

живачів електричної енергії з нормованими показниками якості, маємо трифазну симетричну систему напруг  $U_A = U_B = U_C$  джерела. При нерівномірному навантаженні за фазами порушається симетрія напруг і струмів в окремих точках електричної мережі. Несиметрію навантаження маємо у випадку нерівності комплексів опорів двох фаз, наприклад  $\underline{Z}_a \neq \underline{Z}_b$ , або нерівності комплексів опорів усіх трьох фаз навантаження  $\underline{Z}_a \neq \underline{Z}_b \neq \underline{Z}_c$ . Характер процесів залежить від схеми з'єднання фаз електроприймача.

Несиметричні режими в електричних мережах виникають з таких причин:

- не однакове навантаження в різних фазах;
- неповнофазна робота ліній або інших елементів мережі;
- різні параметри ліній у різних фазах.

Завдання зменшення несиметрії напруги у споживача електричної енергії досить складне і потребує комплексного дослідження системи споживання ЕЕ: схеми розподілу, режимів схеми, режимів окремого обладнання тощо. Результатом аналізу й дослідження має бути система заходів щодо симетрування напруги.

До негативних наслідків несиметрії належить поява напруг і струмів зворотної і нульової послідовності  $U_2, U_0, I_2, I_0$ , яка призводить до додаткових втрат потужності й енергії, а також втрат напруги в мережі, що погіршує її режими й техніко-економічні показники роботи. Струми зворотної і нульової послідовностей  $I_2, I_0$  збільшують втрати в поздовжніх гілках мережі, а напруги й струми цих послідовностей – у поперечних гілках.

Заходи щодо зниження несиметрії умовно можна розділити на дві групи: заходи без застосування спеціальних пристроїв та заходи із застосуванням спеціальних пристроїв симетрування напруги (ПСН).

*Заходи без застосування спеціальних ПСН:*

– підключення несиметричних навантажень  $S_{\text{оф}}$  на ділянках мережі з можливою більшою потужністю короткого замикання  $S_{\text{к.з.}}$ :

$$S_{\text{оф}} < S_{\text{к.з.}}/50; \quad (5.3)$$

– підключення несиметричних навантажень значної потужності до окремих трансформаторів;

– забезпечення рівномірного розподілу навантажень за фазами;

– зменшення опору нульової послідовності  $Z_0$  в мережах до 1 кВ шляхом збільшення перерізу нульового проводу, використання трансформаторів із меншими індуктивностями  $X_{\text{то}}$  (залежать від схем з'єднання обмоток, схеми вторинної обмотки «зигзаг», з'єднання обмоток «трикутник-зірка з нульовим проводом»).

Симетрування напруг у мережі зводиться до компенсації струму і напруги зворотної послідовності.

Рациональний перерозподіл навантажень не завжди дозволяє знизити коефіцієнт несиметрії напруг до допустимого значення (наприклад, коли частина потужних однофазних електроприймачів працює за умовами технології не увесь час, а також за умови профілактичних і капітальних ремонтів). У цих випадках необхідно застосовувати спеціальні симетрувальні пристрої.

*Негативний вплив вищих гармонік на роботу системи електропостачання виявляється в такому:*

- додаткові втрати потужності й електроенергії в елементах мережі;
- зменшення коефіцієнта потужності;
- обмеження діапазону застосування компенсаційних конденсаторних батарей унаслідок появи резонансних режимів на частотах вищих гармонік;
- скорочення терміну служби ізоляції електричних машин і апаратів унаслідок як діелектричного, так і додаткового її нагрівання;
- збільшення погрішності лічильників обліку активної і реактивної енергій та погрішності виміру струмів і напруг;
- завади нормальній роботі деяких видів релейного захисту, збої в роботі систем контролю, автоматики й телемеханіки.

*Заходи щодо зниження впливу вищих гармонік на мережу живлення:*

- збільшення потужності короткого замикання на шинах джерела гармонік;
- відокремлене живлення лінійного й нелінійного навантаження;
- збільшення кількості фаз випрямлення вентильних перетворювачів;
- застосування силових резонансних *CL*-фільтрів і фільтро-компенсувальних пристроїв.

### ***Висновки за розглянутою темою***

Коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$  показує, як використовується номінальна потужність джерела живлення. Чим менше  $\cos\varphi$  електроспоживача, тим дорожча передача до нього електроенергії (більші втрати потужності при транспортуванні електричної енергії).

Щоб зменшити споживання реактивної потужності, застосовують організаційні й технічні заходи.

У випадку несиметричного навантаження споживача за схемою «зірка» без нульового провідника система напруг джерела симетрична, а система напруг у електроспоживача – несиметрична.

Несиметричне навантаження фаз електроспоживача спричиняє появу напруги зміщення нейтралі, і, як наслідок, струмів нульової та зворотної послідовностей, які погіршують економічність системи електропостачання.

Щоб зменшити негативний вплив несиметрії навантаження, застосовують заходи без та із застосуванням пристроїв симетрування напруги.

Нелінійність вольт-амперних характеристик електроприймачів спричинює появу вищих гармонійних складових електричного струму, які призводять до негативних наслідків у системі електропостачання.

### ***Контрольні запитання за темою 5:***

1. Поясніть, як пов'язані потужність електроприймача та його вплив на режим роботи системи електропостачання?
2. Наведіть приклади електроприймачів зі специфічними режимами роботи. Поясніть наслідки їхнього впливу на режим роботи системи електропостачання.
3. Як розрахувати величину зменшення втрат в електричній мережі при підвищенні значення коефіцієнта потужності від  $\cos\varphi_1$  до  $\cos\varphi_2$ ?
4. Які організаційні заходи застосовують для зменшення споживання реактивної потужності?
5. Обґрунтуйте неминучість виникнення несиметрії навантаження в чотирьохпроводних системах електропостачання.
6. Які негативні наслідки несиметричного навантаження електроприймачів?
7. За якої умови фазна напруга електроприймача буде більшою за фазну напругу джерела живлення?
8. Що спричиняє появу гармонійних складових струмів у системі електроспоживання?
9. У чому полягає негативний вплив вищих гармонік на роботу системи електропостачання?
10. Які заходи застосовують для зменшення впливу вищих гармонік на систему електропостачання?

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ХАРАКТЕРНІ ГРУПИ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

### **Тема 6 Електричні машини як приймачі електричної енергії**

#### ***Програмна анотація теми:***

- 6.1 Основні відомості про електричні машини.
- 6.2 Режими роботи електричних машин.
- 6.3 Асинхронні електричні машини.
- 6.4 Пуск асинхронних машин.
- 6.5 Однофазні асинхронні двигуни.

**Ключові поняття:** характеристика електричної машини (робоча, м'яка, жорстка, природна, штучна, механічна, швидкісна, моментна), жорсткість характеристики, критичний момент (ковзання), перевантажувальна здатність, режим роботи асинхронної машини (двигуна, гальмування противмиканням, генерато-

рний, динамічне гальмування), пуск (прямий, реостатний, автотрансформаторний, реакторний).

**Література:** [2, С. 563–577], [6, С. 186–211, 294–302], [7, С. 82–106].

### **Основні положення теми**

Електричні машини (далі – ЕМ) працюють в режимах генерації і споживання ЕЕ. Надалі ми розглянемо основні групи ЕМ, які дають наочне уявлення про загальні особливості цієї групи приймачів ЕЕ.

Серед параметрів ЕМ насамперед необхідно розглянути **номінальні параметри**, до яких відносять:

для машин постійного струму (далі – МПС):

- номінальна потужність  $P_{\text{ном}}$ , кВт;
- номінальна напруга якоря  $U_{\text{ном}}$ , В;
- номінальний струм якоря  $I_{\text{ном}}$ , А;
- номінальна частота обертання  $n_{\text{ном}}$ , об/хв;
- номінальна напруга збудження  $U_{\text{ном.зб}}$ , В;
- номінальний струм збудження  $I_{\text{ном.зб}}$ , А;
- коефіцієнт корисної дії  $\eta$ .

для машин змінного струму (далі – МЗС):

- потужність на валу (механічна потужність)  $P_{\text{ном}}$ , кВт;
- номінальна напруга  $U_{\text{ном}}$ , В;
- номінальний струм статора –  $I_{\text{ном}}$ , А;
- частота напруги мережі  $f_{\text{ном}}$ , Гц;
- частота (швидкість) обертання ротора  $n_{\text{ном}}$ , об/хв;
- номінальний ККД  $\eta_{\text{ном}}$ ;
- номінальний коефіцієнт активної потужності  $\cos\varphi_{\text{ном}}$ .

Розрізняють робочі й механічні характеристики ЕМ. **Робочі характеристики** – це залежності споживаних потужності  $P_1$ , струму, частоти обертання  $n$ , моменту  $M$ , ККД  $\eta$  від корисної потужності на валу двигуна  $P_2$  за умови наявності номінальної напруги живлення  $U_{\text{ном}} = \text{const}$  (для МПС також за умови номінального струму збудження  $I_{\text{ном.зб}} = \text{const}$ ).

Механічну характеристику (рис. 6.1) розглядають як залежність кутової швидкості  $\omega$  (рад/с), або частоти обертання вала двигуна  $n$  (об/хв), від електромагнітного обертового моменту  $M$  (Н·м):  $\omega = f(M)$ ,  $n = f(M)$ . Ступінь змінювання швидкості обертання вала двигуна зі змінюванням моменту характеризує **жорсткість механічної характеристики**, яка визначаються за виразом:

$$\beta = dM / d\omega, \quad (6.1)$$

де  $dM$  – зміна моменту двигуна;

$d\omega$  – відповідна зміна кутової швидкості.

За жорсткістю розрізняють (рис. 6.1): абсолютно жорстку характеристику (крива 1), жорстку характеристику (крива 3), м'яку характеристику (крива 4).

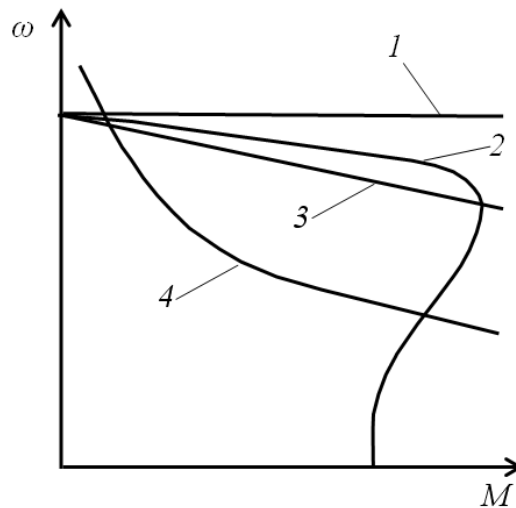


Рисунок 6.1 – Механічні характеристики двигунів

Режими роботи електричних машин встановлені ГОСТом 183-74. Вони умовно позначаються  $S1 - S8$ . Експлуатація ЕМ при номінальному навантаженні відповідно до режиму, зазначеному виробником у технічному паспорті, гарантує її безвідмовну й надійну роботу у складі електротехнологічного устаткування. Режими розрізняються за характером і тривалістю навантаження, що супроводжується процесами виділення тепла й нагрівання електричної машини. З огляду на цей фактор виділення тепла й нагрівання ЕМ є базовою характеристикою, за якою розрізняють режими роботи ЕМ. Перші три режими ( $S1$ ,  $S2$  і  $S3$ ) є базовими, дані для них подають у паспортах ЕМ.

Робочі характеристики асинхронного двигуна наведено на рисунку 6.2.

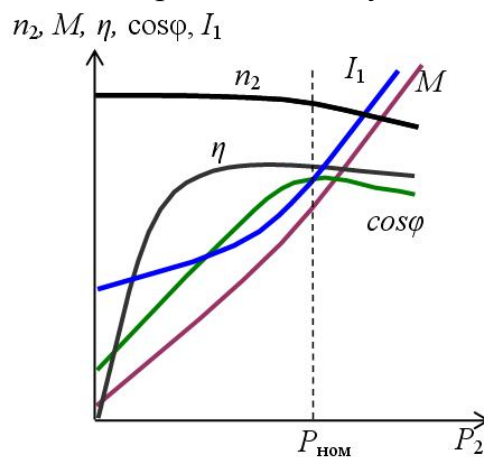


Рисунок 6.2 – Робочі характеристики асинхронного двигуна

Асинхронна машина може працювати у трьох режимах (рис. 6.3) : двигуна, генератора та у режимі гальмування. Можливі наступні режими гальмування.

**Динамічне гальмування** здійснюється шляхом увімкнення обмотки статора на мережу постійного струму; обмотка ротора при цьому замикається на зовнішні резистори.



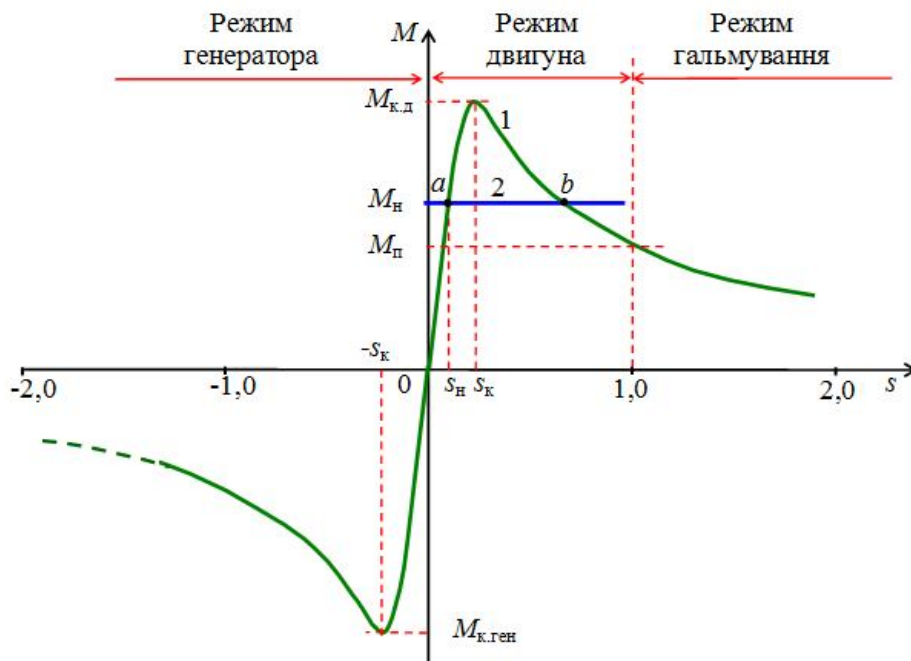


Рисунок 6.3 – Механічна характеристика асинхронної машини

**Гальмування АД з віддачею енергії до мережі** – у цьому режимі значення максимального моменту перевищує максимальний момент режиму двигуна. Цей режим застосовують для двигунів із перемиканням полюсів, а також для приводів вантажопідіймальних машин тощо.

**Гальмування противмиканням** застосовують частіше. Цей режим отримують при рушійному моменті навантаження  $M_{оп} > M_H$ . Щоб обмежити струм і одержати відповідний момент, необхідно при використанні двигуна з фазним ротором у його роторне коло ввімкнути додатковий резистор.

Порівняльну характеристику електричних способів гальмування АД подано в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Порівняння способів гальмування АД

Позазник	Спосіб гальмування		
	Противмиканням	Динамічне	Рекуперативне
1	2	3	4
Переваги	Простота схеми. Наявність гальмівного моменту до зупинки. Висока інтенсивність гальмування	Відсутність силової схеми живлення. Можливість отримати жорсткі механічні характеристики з малими швидкостями обертання	Рекуперація електричної енергії у гальмівному режимі. Високий ККД.
Недоліки	Відсутність рекуперації. Низький ККД. М'які механічні характеристики	Відсутність рекуперації. Гальмівний момент зменшується зі зменшенням швидкості обертання (мала інтенсивність гальмування)	Складність схем (наявність регульованого джерела напруги з можливістю режиму рекуперації)

Продовження табл. 6.1.

1	2	3	4
Сфера застосування	Гальмування (реверс) двигунів у розімкнених системах. Опускання вантажів у піднімальних механізмах, керованих оператором	Гальмування двигунів у розімкнених системах. Отримання малих зупинкових швидкостей у піднімальних механізмах	Замкнуті системи електроприводів із широким діапазоном регулювання швидкості

Під пуском розуміють подачу змінної напруги на затискачі АД і його наступний розгін до швидкості, зумовленої частотою напруги живлення й моментом опору на валу.

У АД **кратність пускового струму** відносно номінального  $I_n$  велика й зазвичай становить  $k_n = 5-7$  ( $I_n = (5-7) \cdot I_{ном}$ ).

Залежно від типу двигуна, його потужності, опору навантаження виконавчого механізму використовують різні способи й схеми пуску АД.

### **Висновки за розглянутою темою**

Вихідними даними під час вибору ЕМ для певного механізму є значення зазначених у паспорті її номінальних параметрів. Довільний режим ЕМ приводиться до її еквівалентного номінального режиму.

Основним режимом асинхронної машини є режим двигуна. Як гальмові режими використовують динамічне гальмування, рекуперативне гальмування й режим противмикання. Вибір режиму гальмування залежить від умов роботи певного електроприймача.

Вибір схеми пуску АМ визначається особливостями її роботи під навантаженням.

Прямий пуск АД застосовують для механізмів з невеликим моментом інерції.

Для пуску двигунів механізмів із великим моментом інерції застосовують схеми з обмеженням пускових струмів. Струмообмежувальні опори застосовують тоді, коли умови пуску не є важкими. При тяжких умовах пуску застосовують автотрансформаторну схему.

Трифазні АД можна застосовувати в однофазній мережі, використовуючи пусковий і робочий конденсатори. Номінальна потужність двигуна в цьому разі зменшується на 45–65 %.

### **Контрольні запитання за темою 6:**

1. Назвіть основні групи класифікації електричних машин.
2. Які номінальні параметри машин змінного струму?
3. Які характеристики розрізняють за критерієм жорсткості?
4. Назвіть основні режими роботи електричних машин.
5. Опишіть робочі характеристики асинхронного двигуна?

6. Які режими роботи асинхронного двигуна показуються на механічній характеристиці?

7. Порівняйте напрями обертання ротора АД і магнітного поля в режимах двигуна, генератора й гальмування противмиканням.

8. Поясніть механічну характеристику АД при перемиканні двох фаз статора.

9. Поясніть фізику процесів в АД у режимі динамічного гальмування.

10. Порівняйте способи гальмування АД.

11. Які способи пуску АД використовують на практиці? У яких випадках?

12. Поясніть схему прямого реверсивного пуску АД.

13. Поясніть причину наявності прямого й зворотного поля в однофазному АД.

14. Поясніть роботу схем вмикання однофазних АД.

15. Поясніть схеми вмикання трифазних АД в однофазну мережу.

## Тема 7 Електроприймачі нагрівального устаткування

### *Програмна анотація теми:*

7.1 Електричне нагрівання.

7.2 Електричне опалення.

7.3 Електропрогрівання бетону.

7.4 Електропрогрівання ґрунту.

**Ключові поняття:** електронагрівальне устаткування, пряме (непряме) нагрівання, електропрогрівання бетону (електродне, індукційне, інфрачервоне, непряме, електропрогрівання поза формою), електропропарювання, електропрогрівання ґрунту.

### *Література:*

[6, С. 348–356], [7, С. 107–126].

### *Основні положення теми*

**Електронагрівальне устаткування** – це устаткування, в якому електрична енергія використовується для нагрівання матеріалів і виробів. На промислових і сільськогосподарських підприємствах, залежно від особливостей виробничого процесу, застосовують різні способи перетворення електричної енергії в теплову – нагрівання опором, індукційне, діелектричне, дугове нагрівання тощо.

Теплова енергія, що виділяється у провіднику, може бути використана безпосередньо для нагрівання самого провідника, який у цьому випадку є тілом, що нагрівається (**принцип прямого нагрівання**). При **непрямому нагріванні** енергія нагрівання передається спеціальними провідниками (нагрівачами), по

яких проходить електричний струм до інших виробів, що підлягають нагріванню шляхом конвекції і випромінювання теплової енергії.

У промисловості для нагрівання металів застосовують методи прямого електроконтактного й непрямого нагрівання. **Електроконтактний спосіб** застосовується для нагрівання металевих деталей, що мають електронну провідність. Прикладами електроконтактного способу є наскрізне нагрівання заготовок при їхній обробці тиском, контактне зварювання, прогрівання трубопроводів. Непряме нагрівання металевих виробів здійснюється в індукційних печах, змінне електромагнітне поле яких збуджує вихрові струми в тілі виробу і подальше його нагрівання.

Електроприймачі електричного нагрівання можна поділити на такі характерні групи:

- за ознакою роду струму – постійного та змінного струму;
- за частотою змінного струму: промислової частоти (50 Гц), середньої частоти (до 10 кГц), високої частоти (понад 10 кГц);
- за способом перетворення електричної енергії в теплову (опором, індукційний, діелектричний, інфрачервоний тощо);
- за температурою: низькотемпературне (температура матеріалу не перевищує 400 °С; високотемпературне (з температурою понад 400 °С).

Трубчастий електронагрівник (ТЕН) конструктивно (рис. 7.1) становить металеву трубку 1, заповнену теплопровідним електроізоляційним наповнювачем 2, у якому розміщується електронагрівальна спіраль 3. Як наповнювач застосовується плавлений периклаз. У порівнянні з відкритими електронагрівниками ТЕНи електробезпечніші, можуть працювати у воді, рідких вуглеводнях, рідкому металі, розплавах солей, оксидів та в інших середовищах. ТЕНи стійкі до вібрацій і механічних навантажень. Потужність ТЕНів становить від 100 Вт до 15 кВт, робоча напруга – 36–380 В, робоча температура – 400–1 000 К. Термін служби ТЕНів становить 10–40 тис. год.

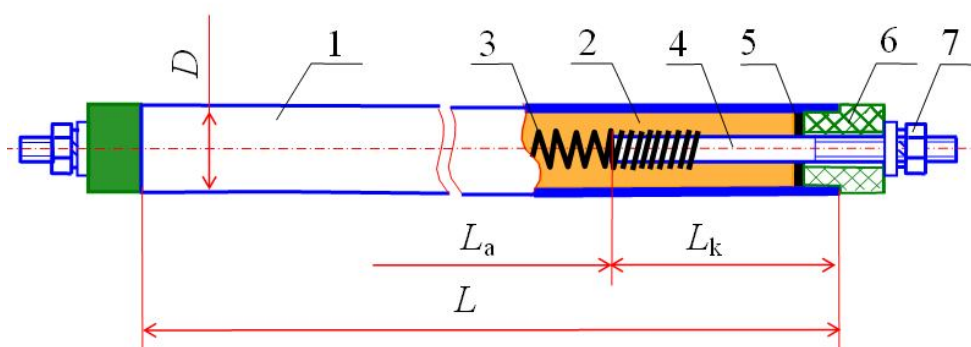


Рисунок 7.1 – Конструкція трубчастого електронагрівника

**Електрична піч** – це плавильна або нагрівальна установка, у якій тепловий ефект досягається за допомогою електричного струму.

Електричні печі, у порівнянні з іншими видами печей, мають такі переваги:

- зручність механізації й автоматизації печі;
- легкість автоматичного керування потужністю, а отже, і температурним режимом печі;

- можливість одержання в пічній камері будь-яких температур до 3000 °С;
- достатньо рівномірне нагрівання виробу шляхом відповідного розташування нагрівачів на стінках пічної камери або застосування примусової циркуляції пічної атмосфери.

На рисунку 7.2 показані конструкція й типова схема електричного водонагрівача.

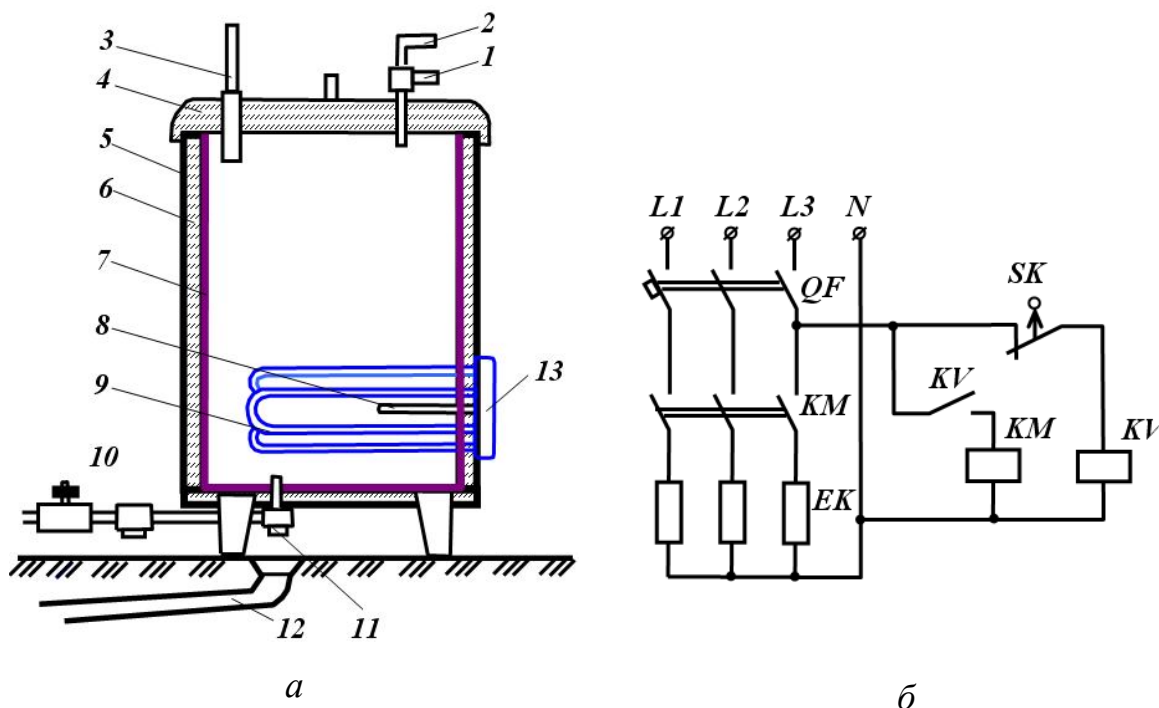


Рисунок 7.4 – Електричний водонагрівач:

*а* – загальний вигляд; *б* – електрична схема; 1 – запобіжний клапан; 2 – розбірний клапан; 3 – термометр; 4 – кришка; 5 – кожух; 6 – теплоізоляція; 7 – резервуар; 8 – термодатчик з температурним реле; 9 – ТЕН; 10 – зворотний клапан; 11 – зливальний кран; 12 – трубопровід; 13 – блок ТЕНів; *QF* – автоматичний вимикач; *SK* – контакт температурного датчика; *KV* – реле напруги; *KM* – магнітний пускач; *EK* – нагрівальні елементи (ТЕНи)

Методи електротермообробки бетону.

**Електродна наскрізна.** Електроди розміщують вертикально щодо товщі бетону. Застосовується для збірних і монолітних фундаментів, стін, блоків.

**Електродна периферійна.** Електроди закріплюють в опалубці в спеціальних щитах або термоактивному шарі тирси, змоченої розчином хлористого натрію (NaCl). Застосовується для однобічного прогрівання конструкцій товщиною більше за 20 см або двостороннього – до 20 см.

**Індукційна електротермообробка.** Виріб розміщують в змінному магнітному полі, утвореному електричною обмоткою, і він нагрівається вихровими струмами. Застосовується під час прогрівання збірних і монолітних конструкцій: колон, балок, рам, стовбурів, труб та ін.

**Інфрачервоне прогрівання високотемпературними нагрівачами** за допомогою ламп розжарювання, трубчастих, дровових та інших нагрівачів. Застосовується для прогріву монолітних конструкцій складної конфігурації і при сушінні виробів.

**Непряме прогрівання низькотемпературними нагрівачами** за допомогою трубчастих, плоских, струнних та інших нагрівачів, вмонтованих у опалубку або мати. Застосовується для всіх видів виробів.

**Інфрачервоне прогрівання у камерах з випромінювальними поверхнями.** Застосовується під час виготовлення плит і панелей.

**Електропрогрівання бетонної суміші поза формою**, при якому суміш у гарячому стані укладається у форму. Застосовується для зведення монолітних конструкцій і під час виготовлення виробів у заводських умовах.

Електропрогрівання ґрунту застосовують у тих районах, де є вільна електрична потужність (наприклад поблизу потужних гідроелектростанцій).

Відомо кілька способів електропрогрівання ґрунтів, серед яких найбільш зручним, дешевим і безпечним є електродний спосіб із безпосереднім підключенням установок електропрогрівання до існуючих електромереж напругою до 380 В.

Останнім часом розроблено й впроваджено у виробництво в північних районах відігрівання ґрунту електроенергією напругою до 10 кВ.

У порівнянні з напругою 380 В застосування для електропрогрівання мерзлого ґрунту електродів з напругою 10 кВ дає змогу прискорити проведення робіт і зменшити їхню вартість. Потрібна кількість електродів зменшується, а відстань між ними збільшується. Скорочується обсяг підготовчих робіт щодо занурення електродів у ґрунт.

### ***Висновки за розглянутою темою***

Електроприймачі нагрівального устаткування широко використовуються на сучасних промислових підприємствах, у комунальному господарстві, в побуті.

Принцип їхньої роботи базується на перетворенні електричної енергії в теплову енергію.

Довгостроковий режим роботи електроприймачів нагрівального устаткування створює рівномірне навантаження з незначними коливаннями в часі.

Коефіцієнт потужності устаткування визначається способом отримання теплової енергії. Для устаткування нагрівання опором його значення близькі до одиниці, для устаткування індукційного нагрівання – низькі значення (0,3 – 0,4).

Поширеним є устаткування нагрівальними елементами якого є ТЕНи. Випускаються ТЕНи промислового й побутового призначення з широким класом потужностей і напруг живлення.

Застосування електронагрівального устаткування в будівництві (електропрогрівання бетону, ґрунту) забезпечує зменшення часу здійснення технологічних процесів, підвищення якості робіт.

### **Контрольні запитання за темою 7:**

1. Поясніть основні принципи роботи електронагрівального устаткування.
2. На які характерні групи поділяють електроприймачі електричного нагрівання?
3. Коротко охарактеризуйте нагрівальні елементи.
4. Поясніть принцип роботи й особливості електричних печей опору.
5. Охарактеризуйте електричні водонагрівачі.
6. Якою є сфера застосування електричного опалювання? Назвіть переваги та недоліки електричного опалювання.
7. За допомогою яких методів здійснюється електротермообробка бетону?
8. Охарактеризуйте електродний наскрізний і периферійний методи електротермообробки бетону.
9. Які електроди застосовують під час прогрівання бетону?
10. Охарактеризуйте індукційний метод електротермообробки бетону.
11. Які трансформатори застосовуються для електропрогрівання бетону?
12. Як змінюється опір бетону у процесі його твердіння? Яким чином підтримується значення струму прогрівання?
13. Як здійснюється вимірювання температури бетону під час електропрогрівання?
14. Як здійснюється прогрівання бетону електричними печами опору?
15. Поясніть особливості технології електропропарювання бетону.
16. У чому полягають особливості електропрогрівання бетону інфрачервоними променями?

### **Тема 8 Електроосвітлювальне устаткування**

#### **Програмна анотація теми:**

- 8.1 Загальні відомості.
- 8.2 Лампи розжарювання.
- 8.3 Газорозрядні лампи.
- 8.4 Світлодіодні джерела світла.
- 8.5 Індукційні лампи.

**Ключові поняття:** система загального (місцевого, комбінованого) освітлення, робоче (аварійне, евакуаційне) освітлення, сила світла, світловий потік, освітленість, світність, яскравість, ефективний потік випромінювання, світлова віддача, індекс передачі кольору, пульсація світлового потоку, колірна температура, джерело світла, лампа розжарювання, тіло розжарювання, галогенна лампа, газорозрядна лампа (люмінесцентна, ртутна, металогалогенна, натрієва, ксенонова), світлодіодна лампа, індукційна лампа.

**Література:** [6, С. 356–365], [7, С. 127–158].

## Основні положення теми

Залежно від способу перетворення енергії в оптичне випромінювання джерела світла поділяють на:

- джерела теплового випромінювання (лампи розжарювання);
- газорозрядні джерела низького, високого та надвисокого тиску (люмінесцентні лампи, лампи ДРЛ, ДРІ, ДНаТ та ін.);
- джерела змішаного (теплового та газорозрядного) випромінювання (лампи ДРВ, ДРВЕД та ін.);
- джерела люмінесцючої дії.

З погляду способу розміщення світильників розрізняють системи загального й комбінованого освітлення.

**Системи загального освітлення** призначені для освітлення всього приміщення разом із робочими поверхнями. Загальне освітлення може бути *рівномірним* і *локалізованим*. Світильники загального освітлення розташовують у верхній зоні приміщення й кріплять їх на будівельних основах будинку безпосередньо до стелі, на фермах, на стінах, колонах або на технологічному виробничому устаткуванні, на тросах тощо.

**Місцеве освітлення** передбачається на робочих місцях для збільшення їхньої освітленості.

**Комбіноване освітлення** – одночасне використання місцевого й загального освітлення. Застосовується в приміщеннях де виконуються зорові роботи, що потребують значної освітленості. За такої системи світильники місцевого освітлення забезпечують освітленість тільки робочих місць, а світильники загального освітлення – усього приміщення, робочих місць і головним чином проходи й проїзди.

У Міжнародній системі одиниць (SI) основною світловою величиною вважається **сила світла** (позначається латинською буквою  $I$ ). Одиниця виміру сили світла – *кандела* (скорочено – кд).

**Сила світла** – просторова щільність світлового потоку, яка чисельно дорівнює відношенню потоку випромінювання  $\Phi$  до тілесного кута  $\omega$ , в якому він випромінюється

$$I = \Phi / \omega. \quad (8.1)$$

**Світловий потік** ( $\Phi$ ) – частина потужності променевої енергії (променевого потоку), що сприймається оком людини як світлове відчуття.

Одиниця виміру світлового потоку – люмен (лм). Один люмен відповідає світловому потоку, що випромінюється в одиничному тілесному куті (стерадіан) точковим джерелом із силою світла одна кандела.

**Освітленість** ( $E$ ) – це щільність світлового потоку на поверхні освітлення, тобто відношення світлового потоку  $\Phi$  до площі освітлюваної поверхні  $S$  за умови його рівномірного розподілу:

$$E = \Phi / S. \quad (8.2)$$



Розрізняють електротехнічні, світлотехнічні, енергетичні й експлуатаційні параметри та показники джерел світла.

До **електротехнічних параметрів** належать номінальна потужність, напруга, струм і коефіцієнт потужності.

До **світлотехнічних параметрів** відносять: ефективний потік випромінювання лампи, світловіддачу лампи, спектральний склад випромінювання лампи, пульсації світлового потоку.

**Ефективний потік випромінювання** – це потужність випромінювання, оцінена за рівнем реакції на нього приймача енергії випромінювання (наприклад реакція ока на світло).

**Світлова віддача лампи** характеризує ефективність використання лампи й визначається як відношення світлового потоку лампи  $\Phi$  до її потужності  $P$ :

$$H = \Phi/P, \text{ лм/Вт} . \quad (8.3)$$

**Спектральний склад** випромінювання лампи – сукупність усіх діапазонів частот світлових хвиль.

**Індекс передачі кольору** – параметр, що характеризує ступінь відповідності природного кольору предмета до кольору цього предмета, що сприймається під час освітлення його джерелом світла.

До **енергетичних показників** належать енергетичний ККД лампи  $\eta_{\text{ен.л}}$  та ефективний ККД потоку випромінювання лампи  $\eta_{\text{еф.л}}$ :

$$\eta_{\text{ен.л.}} = \Phi_{\text{п.п.}}/P_{\text{л}}, \quad (8.4)$$

$$\eta_{\text{еф.л.}} = \Phi_{\text{еф.п.}}/\Phi_{\text{п.п.}}, \quad (8.5)$$

де  $\Phi_{\text{п.п}}$  – повний потік випромінювання лампи;

$\Phi_{\text{еф.п}}$  – ефективний потік випромінювання лампи;

$P_{\text{л}}$  – потужність лампи.

У таблиці 8.1 наведені умовні позначення джерел світла, встановлені згідно з ГОСТом 17677-82.

Таблиця 8.1 – Маркування джерел світла

Тип джерела світла	Маркування
Лампи розжарювання загального призначення	Н
Лампи-світильники (рефлекторні й дифузійні)	С
Лампи кварцові галогенні (розжарювання)	И
Лампи лінійні люмінесцентні	Л
Лампи фігурні люмінесцентні	Ф
Лампи еритемні люмінесцентні	Э
Лампи ртутні, типу ДРЛ	Р
Лампи ртутні, типу ДРИ, ДРИШ	Г
Лампи натрієві, типу Днат	Ж
Лампи бактерицидні	Б
Лампи ксенонові трубчасті	К

Конструктивні елементи лампи розжарення загального призначення показані на рисунку 8.1.

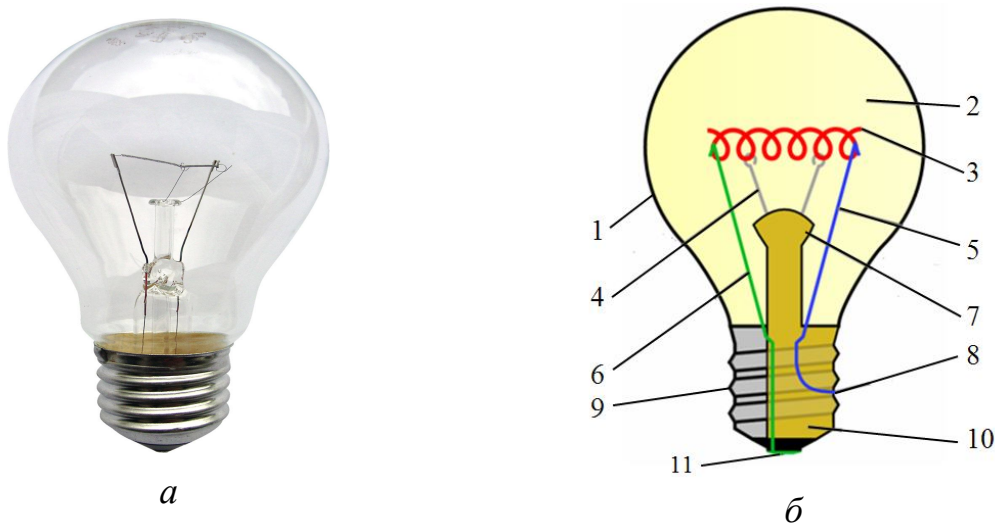


Рисунок 8.1 – Лампа розжарювання загального призначення:  
а – зовнішній вигляд; б – конструкція; 1 – скляна колба; 2 – вакуум або інертний газ; 3 – нитка розжарювання; 4 – утримувач нитки розжарювання; 5 і 6 – контактні проводи; 7 – скляна ніжка; 8 – вивід контакту на цоколь; 9 – цоколь лампи; 10 – ізолятор цоколя (скло); 11 – контакт денця цоколя

Лампи розжарювання дуже чутливі до коливання напруги в мережі. У разі збільшення напруги на 5 % від номінальної, термін їхньої служби зменшується з 1 000 до 400 годин, а при зменшенні напруги на 5 % світловий потік зменшується до 82 %, а строк служби підвищується до 2–2,5 тис. годин.

**Переваги ламп розжарювання:** відносно низька вартість, зручність в обігу, відсутність пускорегулюючої апаратури, досить низький коефіцієнт пульсацій світлового потоку ( $K_p = 5\text{--}19\%$ ), відсутність стробоскопічного ефекту, простота в обслуговуванні, малі початкові витрати під час встановлення освітлювального устаткування, різноманітність конструкцій, напруг і потужностей, високий рівень механізації виробництва.

**Недоліки ламп розжарювання:** висока кратність пускового струму, низька світловіддача (10–20 лм/Вт), обмежений термін служби (1 000 год), спектр переважно жовто-червоного випромінювання, висока залежність світлового потоку і строку служби від напруги, висока температура колби лампи ( $> 100\text{ }^\circ\text{C}$ ) потребує протипожежної уваги, низьке значення ККД (4–7 %).

**Галогенні лампи розжарювання.** Покращене покоління ламп розжарювання. Вони містять у газі-наповнювачі домішки галогенів (фтору, хлору, броду та йоду). Колба галогенної лампи виготовляється з тугоплавкого кварцового скла, яке більш стійке до високої температури і хімічного впливу. Розмір колби галогенної лампи значно менший у порівнянні з лампою розжарювання, що дозволяє збільшувати тиск у лампі. Збільшення тиску й домішки галогенів дозволяють підвищити температуру спіралі. Унаслідок цього збільшується світлова віддача й термін служби галогенної лампи.

**Переваги галогенних ламп** у порівнянні з лампами розжарювання:

- підвищена світловіддача;
- більший термін служби;
- біле світло з колірною температурою до 3 200 К і відмінним кольоропередаванням;
- стабільність світлового потоку протягом усього терміну служби;
- малі розміри;
- можливість регулювання яскравості.

**Недоліками галогенних ламп** є чутливість до перепадів напруги мережі та до жирових забруднень колби.

**Газорозрядні лампи** засновані на явищі люмінесценції речовини, яке виникає в разі дії на неї електричної або променевої енергії. Джерелом світла в газорозрядних лампах є електричний розряд в середовищі розрідженого газу. Залежно від типу інертного газу газорозрядні лампи поділяють на ртутні, металогалогенні, натрієві й ксенонові.

Особливості газорозрядних ламп: їх включають у мережу через пускорегулювальний пристрій (надалі – ПРП) і (за винятком ксенонових ламп) через баластний опір (активний, індуктивний чи ємнісний); викликають в мережі коливання високої частоти, що створює радіоперешкоди; чутливі до зниження напруги. Зниження напруги до 90 % від номінальної може призвести до згасання ламп, при цьому повторне запалення (за винятком трубчастих люмінесцентних ламп) відбувається через 8–10 хвилин після відновлення напруги; світловий потік дугових ламп змінного струму коливається з подвійною частотою, що призводить до коливань освітленості та спричиняє стробоскопічний ефект.

Головною перевагою газорозрядних ламп у порівнянні з лампами розжарювання є більша світловіддача (у 4–5 разів, 70–100 лм/Вт).

**Люмінесцентні лампи.** Принцип дії заснований на дуговому розряді в парах ртуті низького тиску. Ультрафіолетове випромінювання дугового розряду перетворюється на видиме в шарі люмінофора, що вкриває внутрішні стінки лампи. Лампи являють собою довгі скляні трубки (рис. 8.2), у торці яких упаяні ніжки, з двома електродами, між якими розміщується катод у вигляді спіралі. У трубку лампи введено пари ртуті й інертний газ, головним чином аргон. Призначенням інертних газів є забезпечення надійного загоряння лампи й зменшення розпилення катодів. На внутрішню поверхню трубки нанесено шар люмінофора, який забезпечує різнокольоровість випромінювання лампи.

Середній термін служби люмінесцентних ламп складає 2 000–10 000 годин.

За світловіддачею (75–80 лм/Вт) усі люмінесцентні лампи у 2,5–4 рази перевищують лампи розжарювання.

Люмінесцентні лампи мають такі недоліки.

Великі габарити й довжина трубок (від 250 до 1 500 мм).

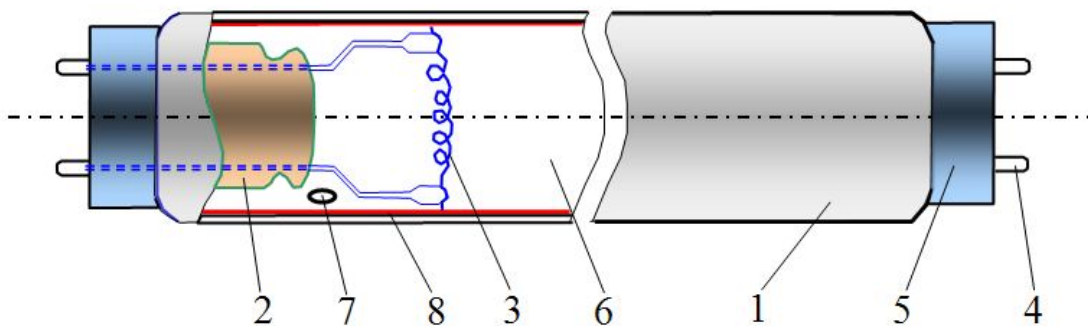


Рисунок 8.2 – Будова люмінесцентної лампи:

1 – колба; 2 – скляна ніжка; 3 – електроди; 4 – контактні штирі;  
5 – цоколь; 6 – інертний газ; 7 – крапля труті; 8 – люмінофор

Працюють стабільно при зміні напруги в межах  $\pm 7\%$  від номінальної. Поза цими межами різко змінюються світловий потік, термін служби, світловіддача, не гарантується їхнє запалення;

Коливання світлового потоку створює стробоскопічний ефект, унаслідок чого погіршується сприйняття рухомих предметів, що призводить до швидкої втомлюваності очей, та може спричинити аварії та нещасні випадки.

Протягом терміну служби значно зменшується світловий потік (до 56 % від первісного значення), що вимагає прийняття значних коефіцієнтів запасу при розрахунках освітлення.

Лампи чутливі до температури зовнішнього середовища. Найбільша світловіддача відбувається при температурі в лампі 40–50 °С, що співвідноситься з температурою зовнішнього середовища 18–25 °С. У разі зниження температури запалювання люмінесцентних ламп не гарантується, тому їх можна використовувати тільки для внутрішнього освітлення.

**Ртутні лампи високого тиску** типу ДРЛ (позначення Д – дугові, Р – ртутні, Л – люмінесцентні) зовні подібні до великих ламп розжарювання. На відміну від люмінесцентної лампи в лампі ДРЛ електричний розряд відбувається не у всій колбі, а в маленькій трубці (пальнику) з кварцового скла, прозорого для ультрафіолетових променів. Під впливом ультрафіолетового випромінювання пальника спеціальний люмінофор, нанесений на внутрішню поверхню колби, дає яскраве, зеленувате світло (близьке до білого).

Світлова віддача ламп ДРЛ досягає 50–70 лм/Вт. Строк служби становить до 10 000 годин для двоелектродних і 3 000 годин для чотириелектродних. Суттєвою перевагою ламп ДРЛ є їх форма, що нагадує лампу розжарювання, а також компактні габарити. Однак ці лампи характеризуються низькою якістю кольоропередавання, відносно високою ціною, чутливістю до зниження напруги.

### **Висновки за розглянутою темою**

Електроприймачі освітлювального устаткування забезпечують необхідні норми освітленості елементів міської інфраструктури, робочих місць промислових пі-

дприємств, побутових приміщень. Вони є важливим елементом обладнання будівельних майданчиків і підприємств будівельної індустрії.

Як джерела світла застосовують лампи розжарювання, газорозрядні лампи.

Газорозрядні лампи у порівнянні з лампами розжарювання різняться меншим споживанням електричної енергії.

Протягом останніх років усе більше використовуються енергоефективні джерела світла. Найбільш популярними стали світлодіодні лампи різноманітного функціонального призначення.

### ***Контрольні запитання за темою 8:***

1. Назвіть основні світлотехнічні величини.
2. Які основні переваги та недоліки ламп розжарювання?
3. Назвіть основні види газорозрядних ламп.
4. У чому полягають особливості люмінесцентних ламп?
5. Де застосовуються ртутні лампи високого тиску?
6. У чому полягають переваги й недоліки світлових діодів?
7. Поясніть фізику роботи індукційних ламп.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧІВ МІСТ І ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

### **Тема 9 Електрозварювальне устаткування**

#### ***Програмна анотація теми:***

- 9.1 Основні відомості про електричне зварювання.
- 9.2 Вимоги до джерел живлення зварювальної дуги.
- 9.3 Електрозварювальне устаткування змінного струму.
- 9.4 Зварювальні осцилятори.
- 9.5 Зварювальні випрямлячі.
- 9.6 Устаткування контактного зварювання.

**Ключові поняття:** зварювання, електродугове зварювання, автоматичне зварювання, зварювальний генератор, зварювальний апарат, контактне зварювання.

**Література:** [1, С. 286–287], [6, С. 305–315], [7, С. 159–178].

#### ***Основні положення теми***

Електрозварювальне устаткування (далі – ЕЗУ) – одна з характерних груп споживачів ЕЕ, яка представлена широким асортиментом різних типів обладнання й специфічних технологій їхнього функціонування.

**Електричне зварювання** – це процес створення неподільних з'єднань деталей машин, конструкцій і споруд за умови їх місцевого або загального нагрівання, пластичного деформування або за умови одночасного впливу цих двох факторів, наслідком чого є встановлення міжатомних зв'язків у місці з'єднання.

**Електрична зварювальна дуга** є електричним розрядом у газовому середовищі між твердими або рідкими електродами, що протікає при високій щільності струму й супроводжується виділенням великої кількості тепла. Для збудження електричної дуги використовують такі способи:

- створення короткого замикання між електродами з їхнім подальшим розведенням (ручне дугове зварювання);
- додатковий імпульс струму високої напруги й високої частоти;
- розплавлення кінця електродного дроту в момент короткого замикання (механізоване зварювання з постійною швидкістю подавання електродного дроту).

Для живлення зварювальної дуги використовують змінний, постійний і пульсуючий електричні струми.

**Статична вольт-амперна характеристика** дуги (рис. 9.1) - залежність напруги дуги від струму в зварювальному ланцюзі називають.

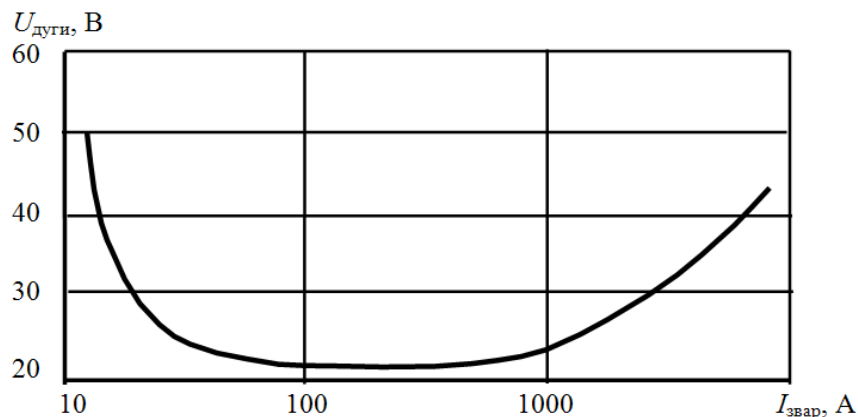


Рисунок 9.1 – Вольт-амперна характеристика дуги

**Напруга збудження дуги** (напруга за якої між електродами виникає електрична дуга) залежить від роду струму (постійний чи змінний), дугового проміжку, матеріалу електрода й зварюваних деталей, покриття електродів і ряду інших факторів. Значення напруг, що забезпечують виникнення дуги в дугових проміжках, рівних 2–4 мм, знаходяться в межах 40–70 В.

Основні види електричного зварювання термічного класу – дугове, електрошлакове, електронно-променеве, плазмове.

**Вимоги до джерел живлення зварювальної дуги:**

- *напруга холостого ходу* має бути достатньою для легкого збудження дуги, водночас вона повинна відповідати нормам техніки безпеки. Для однопостових зварювальних генераторів напруга холостого ходу не повинна перевищувати 80 В, а для багатопостових – 60 В. Для зварювальних трансформаторів встановлена найбільша припустима напруга 70 В при зварювальній силі струму

понад 200 А і напруга 100 В при зварювальній силі струму менше ніж 100 А;

– *напруга горіння дуги* (робоча напруга) має швидко встановлюватися й змінюватися залежно від довжини дуги, забезпечуючи стійке горіння зварювальної дуги. Зі збільшенням довжини дуги напруга має швидко зростати, а зі зменшенням – швидко падати. Час відновлення робочої напруги від 0 до 30 В після кожного короткого замикання (при краплинному перенесенні металу від електрода до зварюваної деталі) не повинен перевищувати 0,05 с;

– значення сили струму короткого замикання не має перевищувати зварювальне значення сили струму більш ніж на 40–50 %. При цьому джерело струму повинно витримувати тривалі короткі замикання зварювального кола. Ця умова необхідна для запобігання перегрівання й ушкодження обмоток джерела струму;

– потужність джерела струму повинна бути достатньою для виконання зварювальних робіт;

– зовнішня характеристика джерела живлення має відповідати заданим умовам режиму зварювання.

Режим роботи електрозварювального устаткування (ЕЗУ) характеризується чергуванням часу процесу зварювання  $t_{зв}$  і часу холостого ходу  $t_{хх}$  або вимкненого стану (паузи)  $t_{п}$ . Протягом холостого ходу або паузи виконують зміну електродів, зборку заготовок, очищення шва від шлаку і при цьому охолоджується джерело живлення. Час роботи джерела живлення не має бути тривалим щоб уникнути неприпустимого перегорання обмоток силової частини.

**Відносна тривалість роботи** (ТР) характеризує роботу ЕЗУ, яке під час перерви не вимикають з електричної мережі і воно продовжує працювати в режимі холостого ходу (випадок ручного зварювання). Вона визначається як відношення середнього часу роботи при навантаженні (процес зварювання) до тривалості повного циклу роботи ( $t_{ц} = t_{зв} + t_{хх}$ ) і виражається у відсотках:

$$ТР = t_{зв} / ( t_{зв} + t_{хх} ) 100 \% . \quad (9.1)$$

Повторно-короткочасний режим характеризується **відотною тривалістю вмикання** ТВ. Для ЕЗУ вона визначається так:

$$ТВ = t_{зв} / ( t_{зв} + t_{п} ) 100 \% . \quad (9.2)$$

Оптимальним значенням ТР прийнято 60 %.

Конструктивні рішення зварювальних апаратів змінного струму поділяють на чотири основні групи:

- з окремим дроселем;
- із вбудованим дроселем;
- з рухомим магнітним шунтом;
- зі збільшеним магнітним розсіюванням і рухомою обмоткою.

Для підвищення стійкості горіння дуги, що живиться змінним струмом, застосовують спосіб накладення на зварювальний струм частотою 50 Гц струмів високої частоти (150–500 кГц) і високої напруги (1 500–6 000 В). Такі заходи застосовують під час зварювання тонкостінних виробів дугою малої потужності

і при зварювальному струмі 20–40 А, а також під час зварювання в захисних газах, зварювання спеціальних сталей і деяких кольорових металів.

### ***Висновки за розглянутою темою***

При електродуговому зварюванні, розплавлення металу зварюваних кромок деталей і електроду або присадного металу здійснюється за рахунок тепла, що виділяється електричною дугою.

Електродугове зварювання починається з короткого замикання зварювального кола, що спричиняє виділення тепла й швидке розігрівання місця контакту. Ця стадія зварювання потребує підвищення напруги, що призводить до великих струмів у зварювальному ланцюзі (струмів короткого замикання), які можуть спричинити перегрівання в проводці й обмотках джерела струму.

На практиці застосовують зварювальне устаткування постійного і змінного струму.

Перевагами зварювальних випрямлячів на постійному струмі є вищий ККД, відсутність частин, що обертаються, мала маса й габарити, дешевизна.

Трифазні зварювальні апарати забезпечують економію електроенергії, рівномірне завантаження фаз мережі, високий коефіцієнт потужності  $\cos\phi$ .

Головною особливістю зварювальних джерел струму є те, що вони здатні витримувати під час роботи багаторазове коротке замикання в колі зварювального струму.

При напівавтоматичному зварюванні подача електроду вздовж його осі в зону дуги механізована, а переміщення електроду вздовж зварюваного шва зварювач здійснює вручну. При автоматичному зварюванні механізовані всі операції, необхідні для процесу зварювання.

### ***Контрольні запитання за темою 9:***

1. Поясніть, у чому полягають особливості фізичних процесів електричного зварювання?

2. Охарактеризуйте вольт-амперну характеристику електричної дуги? Поясніть її особливості.

3. Сформулюйте основні вимоги щодо джерел живлення зварювальної дуги. Чим вони зумовлюються?

4. Які види електричного зварювання застосовуються у промисловості?

5. Які вимоги висувають щодо джерел живлення зварювальної дуги?

6. Поясніть особливості режимів роботи джерел живлення зварювальної дуги.

7. Поясніть принцип роботи зварювального трансформатора з окремим дроселем.

8. Як працює зварювальний трансформатор з убудованим дроселем?

9. Охарактеризуйте особливості зварювальних осциляторів

10. Поясніть схеми зварювальних випрямлячів.

11. Поясніть роботу устаткування контактного зварювання?



12. Поясніть переваги й недоліки випрямних зварювальних установок.
13. Як і за якими ознаками класифікують зварювальні апарати змінного струму?
14. Поясніть призначення й особливості установок контактного зварювання. Для яких видів зварювання їх застосовують?

## **Тема 10 Електроспоживачі будівельних майданчиків**

### ***Програмна анотація теми:***

- 10.1 Вантажопідіймальні машини.
- 10.2 Електродвигуни вантажопідіймальних машин.
- 10.3 Електропривод будівельних кранів.
- 10.4 Електричні ручні машини.

**Ключові поняття:** вантажопідіймальна машина, кранові електродвигуни, апаратура керування, контролер, командо-контролер, контактор, магнітний пускач, реле часу, проміжне реле, реле мінімального струму, реле максимального струму, теплове реле, електрична ручна машина, клас ізоляції, комбінований електромеханізм, вібратор.

**Література:** [2, С. 583–590], [6, С. 316–344], [7, С.179–195], [8, С. 756–766].

### ***Основні положення теми***

Споживачами електричної енергії у будівництві є будівельні майданчики та підприємства будівельного виробництва (допоміжні підприємства з виробництва бетону, розчину, ремонтні цехи, освітлювальне й побутове електроустаткування).

**Характерні групи** електрообладнання будівельних майданчиків:

- виробничі машини й механізми (будівельно-монтажні крани, землерийні машини, насоси, верстати різного призначення), електроприймачами в яких є електродвигуни, що перетворюють електричну енергію на механічну;
- термічні установки, приймачами в які є нагрівачі, які перетворюють електричну енергію в теплову;
- устаткування електростатичного й електромагнітного поля, електричні фільтри;
- високочастотне устаткування;
- ручний електрифікований інструмент (електричні дрилі, ножівки, гайковерти, вібратори для укладання бетону, фарбо пульти тощо);
- устаткування електричного освітлення.

Особливості роботи електрообладнання вантажопідіймальних машин (ВПМ):

- режим роботи – повторно-короткочасний;
- часте змінювання напрямку обертання (реверс);

- необхідність регулювання частоти обертання привода;
- значне перевантаження, вібрації;
- ускладнений доступ для обслуговування й ремонту;
- необхідність працювати в умовах забруднення, вологості, значного перепаду температур.

**Електрообладнання ВПМ** за призначенням поділяють на **основне** (обладнання електропривода) й **допоміжне** (обладнання робочого і ремонтного освітлення й опалення).

***До основного електрообладнання належать:***

- електродвигуни;
- апарати керування електродвигунами – контролери, командо-контролери, контактори, магнітні пускачі, реле керування;
- апарати регулювання частоти обертання електродвигунів – пускорегулюючі реостати, гальмові машини;
- апарати керування гальмами – гальмові електромагніти й електрогідровлічні штовхачі;
- апарати електричного захисту – захисні панелі, автоматичні вимикачі, максимальні й теплові реле, запобіжники, розподільні ящики й апарати, що забезпечують максимальний і нульовий захист електродвигунів;
- апарати механічного захисту – кінцеві вимикачі й обмежувачі вантажопідіймальності, що забезпечують захист крана і його механізмів від переходу крайніх положень і перевантаження;
- напівпровідникові випрямлячі, що забезпечують живлення обмоток збудження гальмових машин, обмоток магнітних підсилювачів, силових кіл і кіл керування деяких типів кранів;
- генератори змінного й постійного струмів, які застосовують на деяких типах баштових кранів як джерела живлення для всього електрообладнання або електрообладнання приводів окремих механізмів;
- апарати й прилади, які використовують для різних перемикачів і контролю в силових колах і колах керування: кнопки, вимикачі, перемикачі, вимірювальні прилади.

***До допоміжного обладнання належать:***

- освітлювальні прилади (світильники, прожектори);
- прилади електрообігрівання (електропечі, нагрівачі);
- прилади звукової сигналізації (дзвінки, сирени);
- апарати керування й захисту (трансформатори, вимикачі, запобіжники та ін.), встановлені в колах освітлення й опалення.

Електричні ручні машини (далі – ЕРМ) приводять у рух за допомогою електродвигуна або електромагніту, що становить із машиною одне ціле. Як двигуни, застосовують:

- асинхронні трифазні електричні машини з короткозамкненим ротором, нормальною й підвищеною частотою струму;
- асинхронні однофазні електричні машини з короткозамкненим ротором, нормальною й підвищеною частотою струму;

- обернені (обертається статор, а ротор закріплений нерухомо) асинхронні трифазні електричні машини з короткозамкненим ротором, нормальною й підвищеною частотою струму;
- універсальні колекторні електричні машини;
- електричні машини зворотно-поступального руху (електромагнітні).

### ***Висновки за розглянутою темою***

Електрообладнання ВПМ за своїм призначенням поділяється на основне (обладнання електропривода) й допоміжне (обладнання робочого й ремонтного освітлення, опалення).

У приводах ВПМ використовуються електродвигуни спеціального кранового типу.

Умикання й вимикання електродвигунів ВПМ здійснюється спеціальними апаратами: пускатими й контакторами.

Для захисту електрообладнання від аварійних режимів застосовують запобіжники з плавкими вставками, теплові реле та реле максимального струму.

Електрична ручна машина приводиться в рух спеціально виготовленим для цього електродвигуном або електромагнітом, що становить із машиною одне ціле.

В електричних ручних машинах застосовуються спеціально виготовлені електродвигуни, що працюють на напрузі 36 В або 220 В. У пересувних машинах використовують також електродвигуни загального призначення на напругу 380/220 В.

Промисловість випускає електричні ручні машини трьох класів виконання за напругою й ізоляцією.

Силове електроустаткування електричних ручних машин базується тільки на електродвигунах обертового руху, або тільки зворотно-поступальних рухових пристроях, або становить комбінований електромеханізм із обертовим ударним елементом зворотно-поступальної дії.

### ***Контрольні запитання за темою 10:***

1. Яке обладнання забезпечує роботу вантажопідіймальних машин і якими особливостями характеризується його робота?
2. Охарактеризуйте основне електрообладнання ВПМ.
3. Наведіть приклади допоміжного електрообладнання ВПМ.
4. Охарактеризуйте кранові асинхронні електродвигуни.
5. Як здійснюється пуск асинхронних електродвигунів ВПМ?
6. Назвіть основні елементи апаратури керування.
7. На які класи за напругою та ізоляцією поділяють електричні ручні машини?
8. Поясніть будову ручної електричної свердлильної машини.
9. Поясніть схему електромагнітного перфоратора.

10. Які електричні ручні машини належать до вібраторів? Охарактеризуйте їхні типи й призначення.

11. Якими особливостями характеризуються електромеханічні вібратори відцентрового типу?

12. Поясніть будову й принцип роботи електромеханічного дебалансного вібратора ВЕРБ-70.

13. Якими особливостями характеризуються внутрішні вібратори?

## **Тема 11 Електроспоживачі промислових підприємств**

### ***Програмна анотація теми:***

11.1 Загальна характеристика електроспоживачів промислових підприємств.

11.2 Електротехнологічне устаткування.

11.3 Устаткування індукційного нагрівання.

11.4 Дугові електричні печі.

***Ключові поняття:*** устаткування (загальнопромислове, електротехнологічне, перетворювальне, електрозварювальне, електроосвітлювальне), внутрішньо-заводський електричний транспорт, піч (нагрівання, індукційна, дугова), електро-термія.

***Література:*** [7, С. 196–216].

### ***Основні положення теми***

Виокремлюють такі характерні групи електроспоживачів промислових підприємств (ПП):

- загальнопромислове силове устаткування;
- електротехнологічне устаткування;
- електропривод виробничих механізмів;
- перетворювальне устаткування;
- внутрішньозаводський електричний транспорт.

До характерних груп також відносять розглянуте нами в попередніх темах курсу електронагрівальне, електрозварювальне й електроосвітлювальне устаткування.

У таблиці 11.1 наведені дані щодо особливостей технологічних процесів ПП із застосуванням електричної енергії.

Таблиця 11.1 – Електротехнології промислових підприємств

Чинний фактор	Частота, Гц	Вид технологічного процесу
Електростатичне поле	–	Електростатичне поліпшення, електрофільтрування й очищення, розподіл за фракціями, електричне копчення рибних та м'ясних продуктів.
Постійне магнітне поле	–	Очищення від феромагнітних домішок, магнітне оброблення води, попередження появи накипу, зміна кристалічної структури речовини, магнітно-імпульсне оброблення виробів
Постійний і змінний струм промислової частоти	0–50	Електротермічне оброблення, електричне зварювання, електрохімічне й електрофізичне оброблення, випічка, пастеризація, тощо.
Струм середньої і високої частоти	$10^2$ – $10^{10}$	Індукційне й діелектричне нагрівання, сушіння, консервування, стерилізація й пастеризація, дефектоскопія тощо.
Інфрачервоне випромінювання	$10^{12}$ – $10^{14}$	Нагрівання, сушіння, обжарювання, варіння. випічка, дезінсекція.
Світлові промені	$10^{15}$	Світлопроменеве, зокрема лазерне оброблення.
Ультрафіолетове випромінювання	$10^{15}$ – $10^{17}$	Стерилізація, стимулювання й пригнічення біологічних процесів і хімічних реакцій, руйнування мікрофлори.
Рентгенівське випромінювання	$10^{17}$ – $10^{19}$	Те саме
Електронні промені й плазма	–	Нагрівання, плавлення, відновлення металів тощо

**Електротермічне устаткування** – комплекс обладнання, основною складовою якого є електрична піч або електротермічний пристрій, де електрична енергія перетворюється на теплову.

**Переваги** устаткування електричного нагрівання:

- простота й точність керування температурним режимом;
- легкість механізації й автоматизації технологічного процесу;
- можливість отримати високу рівномірність теплового поля;
- відсутність впливу газів на вироби, що підлягають нагріванню;
- можливість проведення оброблення в сприятливому середовищі (інертний газ, вакуум);
- висока якість отримуваних металів.

**Недоліками електричного нагрівання** є досить складна конструкція устаткування, його значна вартість, висока вартість отримуваної теплової енергії.

**Індукційне нагрівання** (далі – ІН) широко використовується для реалізації технологічних процесів ПП, а саме:

- плавлення металів і неметалів;
- поверхневого загартування деталей;
- нагрівання виробів для пластичної деформації;
- зварювання й запаювання;
- зонного очищення металів і напівпровідників;
- отримання монокристалів із тугоплавких оксидів;

- отримання плазми.

При індукційному нагріванні в тілах, що потребують нагрівання, під дією електромагнітного поля виникають вихрові струми, які нагрівають тіло. Деталь виконує роль вторинної обмотки трансформатора з одним короткозамкненим витком. У деталі, згідно із законом Джоуля–Ленца, виникає електрорушійна сила (ЕРС)  $E$ :

$$E = 4,44 \cdot \Phi \cdot w \cdot f, \quad (11.1)$$

де  $\Phi$  – магнітний потік індуктора, Вб;

$w$  – кількість витків індуктора;

$f$  – частота мережі, Гц.

***Переваги електроустановок ІН:***

- висока швидкість нагрівання, пропорційна підведеній потужності;
- хороші санітарно-гігієнічні умови праці;
- можливість регулювати зони дії вихрових струмів у просторі (ширина й глибина прогрівання);
- простота автоматизації технологічного процесу;
- досить високий рівень отримуваних температур, достатніх для нагрівання металів, плавлення металів і неметалів, перегрівання, розплавлення, випаровування матеріалів і отримання плазми.

***Недоліки електроустановок ІН:***

- потрібні складніші джерела живлення;
- підвищена питома витрата електричної енергії на технологічні операції.

Заходи зменшення вплив дугових електропечей на показники якості системи електропостачання:

- встановлення конденсаторних батарей на шинах головної знижувальної підстанції, яка забезпечує живлення групи печей, із можливим автоматичним керування реактивною потужністю;
- використання фільтрів, налаштованих на найбільш інтенсивні гармонічні складові;
- підключення пічних трансформаторних підстанцій на самостійне живлення, не пов'язане з іншими споживачами, на напрузі 110, 220 кВ.

Особливості трансформаторів дугових сталеплавильних печей:

- допускають високі номінальні струми на низькій стороні (до десятків і сотень кілоампер);
- мають великий коефіцієнт трансформації (від 6–110 кВ до декількох сотень вольт);
- мають багато ступенів напруги й широкий діапазон її регулювання (приблизно на 500 %);
- характеризуються високою стійкістю щодо коротких замикань і високою конструктивною міцністю.

Дугові електричні печі як споживачі електричної енергії належать до II і I категорій надійності електропостачання. Вони характеризуються високою одиничною потужністю (0,4–80 МВА) і мають коефіцієнт потужності від 0,70 до 0,85, а також цілодобовий різко змінний циклічний режим роботи.

## ***Висновки за розглянутою темою***

Промислове підприємство, як споживач електричної енергії, характеризується такими ознаками:

- значні обсяги споживання електричної енергії;
- великі значення питомої потужності на 1 м<sup>2</sup> площі території;
- нерівномірність добового графіка навантаження;
- наявність власного джерела живлення (головної заводської підстанції), а в деяких випадках і власної електростанції як третього незалежного джерела;
- істотний вплив на режим роботи та показники якості ЕЕ в системі електропостачання промислового підприємства.

## ***Контрольні запитання за темою 11:***

1. За якими ознаками класифікують електроспоживачів промислових підприємств?
2. Охарактеризуйте загальнопромислове устаткування.
3. Які електроприймачі відносять до електротехнологічного устаткування?
4. Яким є принцип роботи індукційних печей?
5. Які види індукційних печей використовуються на підприємствах?
6. Поясніть схему і конструкцію індукційної каналної печі.
7. У чому полягають особливості електроприймачів перетворювального електроустаткування?
8. Назвіть основні елементи печі ДСП-200.
9. Яке основне електричне обладнання застосовують у схемі електропостачання печі? Поясніть його призначення.
10. Поясніть схему електропостачання дугової електропечі.
11. Як і з якою метою регулюють напругу дугових печей?
12. Які заходи застосовують для зменшення впливу дугових печей на показники якості електричної енергії?
13. Поясніть призначення і особливості пічних трансформаторів.
14. Охарактеризуйте особливості режимів роботи дугових сталеплавильних печей.

## **Тема 12 Електроспоживачі систем життєзабезпечення міст**

### ***Програмна анотація теми:***

- 12.1 Система «Водопостачання та водовідведення».
- 12.2 Система «Теплопостачання міста».
- 12.3 Міський електричний транспорт.

**Ключові поняття:** система життєзабезпечення міста, система водопостачання (водовідведення, теплопостачання), насосна станція, бойлерна, міський електричний транспорт, тягова підстанція

**Література:** [7, С. 217–244].

### **Основні положення теми**

**Система життєзабезпечення міста** (далі – СЖМ) – це складний комплекс містобудівних, соціально-економічних, господарсько-побутових, медичних закладів, підприємств енергопостачання, транспорту і зв'язку, торгівлі, соціально-культурної сфери тощо, основна функція яких зазначена в самій назві системи, складовими якої вони є, а саме – життєзабезпечення міста.

На рисунку 12.1 наведено модель взаємодії складових СЖМ (системи «Електропостачання міста» як джерела ЕЕ і систем «Водопостачання та водовідведення», «Теплопостачання міста» і «Міський електричний транспорт» як споживачів ЕЕ) щодо розгляду особливостей функціонування цих груп електроспоживачів і їхнього впливу на систему електропостачання.

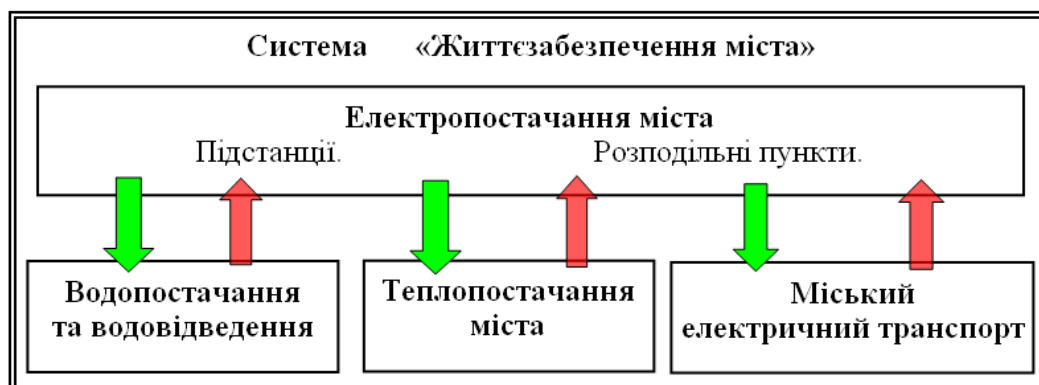


Рисунок 12.1 – Складові системи «Життєзабезпечення міста»

**Система водопостачання та водовідведення** сучасного міста – це комплекс інженерних мереж і споруд, які забезпечують безперебійне водопостачання мешканців та підприємств міста, відведення господарсько-побутових, виробничих стоків та їхнє очищення. Функціонально комплекс можна поділити на три складових – елементи системи: водопостачання, елементи дренажних систем і елементи системи водовідведення.

Основне устаткування систем водопостачання та водовідведення:

- насосні станції першого підйому;
- обладнання підприємств з очищення та знезараження води питної якості;
- насоси станцій другого підйому, які передають воду від резервуарів чистої води у водопровідну мережу міста;
- насоси станцій третього та наступних підйомів, зокрема станцій підкачування безпосередньо в споживача;
- насоси й насосні станції дренажних систем;



- насоси станцій перекачування стічної води, які встановлюють у випадках, коли неможливе її самостійне стікання до станцій очищення;
- обладнання підприємств з очищення стічної води й оброблення опадів.

Функціонально систему можна поділити на дві складові: систему водопостачання й систему водовідведення.

**Система «Водопостачання міста»** - це комплекс інженерних споруд, основною функцією яких є безперебійне забезпечення всіх споживачів міста водою. Реалізація основної функції потребує виконання низки завдань (підфункцій), а саме: отримання води з природних джерел; очищення води й доведення її якості до вимог споживачів; транспортування води до міста; розподіл води між споживачами.

Для виконання цих завдань систему водопостачання укомплектовують такими складовими:

- водозабірні споруди, які здійснюють приймання води з природних джерел;
- водопідіймальні споруди (насосні станції), які подають воду до місць її очищення, збереження або споживання;
- споруди (станції) очищення води;
- водоводи й водогінні мережі, що слугують для транспортування й подачі води до місць її споживання;
- вежі й резервуари, що відіграють роль регулювальних і запасних ємностей у системі водопостачання.

**Система «Водовідведення»** – це комплекс інженерних споруд, призначених для відведення стічних вод від споживачів і наступної доставки до очисних систем.

Стічні води поділяють на такі категорії:

- побутова – від житлових, адміністративних і виробничих будинків;
- промислова – від різних технологічних процесів промислових підприємств;
- атмосферна – дощі, тала снігова вода.

Основні завдання системи водовідведення:

- приймання всіх видів стічних вод у місцях її утворення;
- транспортування стічних вод до очисних споруд;
- очищення й знезаражування стічних вод;
- утилізація корисних речовин, що містяться в стічних водах; спускання очищеної стічної води до водоймищ.

**Міський електричний транспорт** ми розглядаємо як складову (підсистему) системи «Життєзабезпечення міста» (рис. 12.11), основна функція якої полягає в перевезенні громадян за встановленими маршрутами відповідно до вимог життєдіяльності міста. Одночасно міський електричний транспорт є складовою транспортної системи державного рівня, вагомим споживачем ЕЕ в якій є залізничний транспорт, який виконує функцію перевезення вантажів і пасажирів між містами на великі відстані. Характерною ознакою міського електричного транспорту є використання ЕЕ для приводу рухомого складу – вагонів метрополітену, тролейбусів, трамваїв.

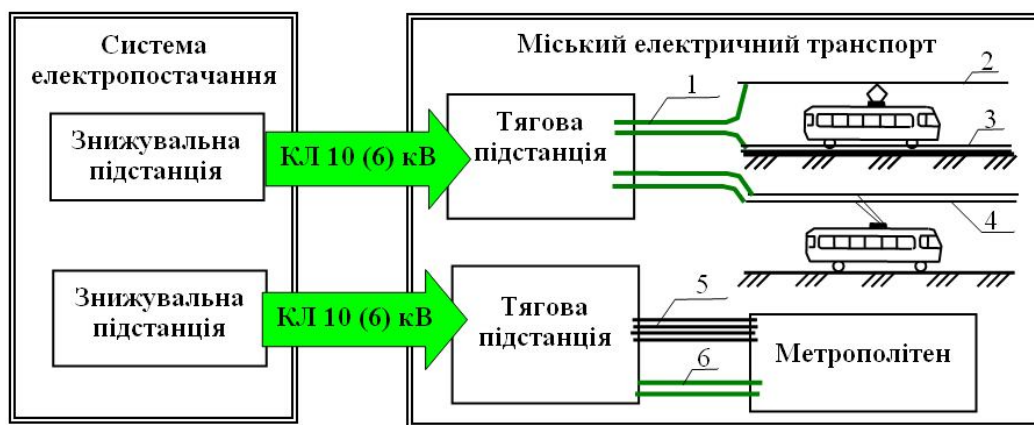


Рисунок 12.11 – Складові системи «Міський електричний транспорт»:  
 1 – кабельна лінія  $\pm 600$  В; 2 – контактний провід тягової мережі трам-  
 вая; 3 – рейки трамвая; 4 – контактні проводи тягової мережі тролейбу-  
 са; 5 – кабельна лінія  $3 \times 380$  В; 6 – кабельна лінія  $\pm 825$  В

### ***Висновки за розглянутою темою***

Електроспоживачі систем життєзабезпечення міст становлять значну частину електроспоживачів, що впливають на режим роботи систем електропостачання та показники якості електричної енергії.

Характерними групами електроспоживачів систем життєзабезпечення міст є системи «Водопостачання та водовідведення», «Теплопостачання», «Міський електричний транспорт».

Режим роботи системи «Водопостачання та водовідведення» характеризується сталим навантаженням, яке має виражений добовий характер.

Режим роботи системи «Теплопостачання» характеризується сезонністю навантаження.

Основними електроприймачами систем «Водопостачання та водовідведення» та «Теплопостачання» є електричні двигуни.

Добовий графік навантаження системи «Міський електричний транспорт» має два періоди максимального навантаження (ранкова й вечірня години «пік»).

### ***Контрольні запитання за темою 12:***

1. Охарактеризуйте систему «Життєзабезпечення міста» як споживача електричної енергії.
2. Назвіть характерні групи електроспоживачів системи «Життєзабезпечення міста».
3. Посніть структуру системи «Водопостачання та водовідведення».
4. Поясніть структуру системи «Водопостачання міста» та функції електроспоживачів у цій системі.
5. Назвіть режими роботи насосних станцій.
6. Які електродвигуни застосовують в електричному приводі насосних станцій?

7. Поясніть, як працює схема керування електродвигунами насосної станції.
8. Охарактеризуйте систему «Водопостачання Харківського регіону».
9. Які основні електроприймачі системи «Водовідведення»?
10. Поясніть роботу схеми керування дренажними насосами.
11. Які основні складові електроспоживачі системи «Теплопостачання міста»? Яку роль виконують електроспоживачі в цій системі?
12. Поясніть роботу схеми керування насосами гарячого водопостачання бойлерної.
13. Поясніть роботу схеми керування підвищувальними насосами бойлерної.
14. Поясніть структуру системи «Міський електричний транспорт».
15. Які особливості режимів роботи міського електричного транспорту?

### **Тема 13 Електроспоживачі інженерних систем будинків**

#### ***Програмна анотація теми:***

- 13.1 Загальна характеристика інженерних систем будинків.
- 13.2 Системи електричного опалення й обігрівання будинків.
- 13.3 Системи вентиляції й кондиціювання повітря.
- 13.4 Ліфти й ескалатори.

**Ключові поняття:** інженерне устаткування, електричне опалювання, вентиляція, кондиціювання.

**Література:** [6, С. 366–374], [7, С. 245–255].

#### ***Основні положення теми***

Основними компонентами інженерних систем будинків є електро-, тепло- й водопостачання, водопідготовка, каналізація, вентиляція, кліматичне обладнання, кондиціювання, електрообігрівання, охоронно-пожежні системи, очистка стоків, іонізатори й очищувачі повітря, освітлення та деякі інші.

**Силове електрообладнання** в інженерних системах будівель - електродвигуни й пускорегулююча апаратура, технологічне, санітарно-технічне, протипожежне устаткування, підйимально-транспортні установки, збиральні механізми, а також силові електроприймачі теплового, лабораторного, лікувального обладнання та інші аналогічні апарати й прилади електромережі з усім комплексом провідників, розподільних пристроїв і електромонтажних виробів.

Призначення систем кондиціювання й вентиляції будинків полягає у створенні, регулюванні й автоматичному підтриманні комфортного мікроклімату в закритих приміщеннях: температури, вологості, чистоти, швидкості руху повітря тощо.

**Ліфт** становить стаціонарну вантажопідймальну машину періодичної

дії, призначену для підйому й спуску людей або вантажів. Перевезення пасажирів здійснюється окремими групами через певний проміжок часу, до того ж рух чергується із зупинками для посадки й висадки людей. Ліфт є найпоширенішим підйомником періодичної дії.

### ***Висновки за розглянутою темою***

Основними значущими складовими інженерних систем будинків є електроспоживачі систем водопостачання та водовідведення, теплопостачання, міського електричного транспорту.

Складові інженерних систем будинків – це складні багатoelementні комплекси електрообладнання, значну частину якого становлять електродвигуни.

Сучасні інженерні системи будинків вирізняються високим ступенем автоматизації керування режимами роботи.

### ***Контрольні запитання за темою 13:***

1. Назвіть основні компоненти інженерних систем будинків.
2. Охарактеризуйте особливості електроприймачів сучасних висотних будинків.
3. Які елементи становлять силове електроустаткування інженерних систем будинків?
4. Назвіть основні електроприймачі систем електричного опалювання будинків. Охарактеризуйте їхні режими роботи.
5. Охарактеризуйте сучасні калорифери.
6. Поясніть як працює схема електричного калорифера на три секції ТЕНів.
7. На які групи й за якими ознаками поділяють системи кондиціювання повітря?
8. Охарактеризуйте особливості ліфтів і сферу їхнього застосування.
9. Охарактеризуйте переваги й недоліки використання електроенергії для опалення будинків.

## **Тема 14 Електроприймачі житлових будинків**

### ***Програмна анотація теми:***

- 14.1 Електроприймачі квартир.
- 14.2 Загальнобудинкові електроприймачі.

***Ключові поняття:*** клас енергоефективності, побутові електричні прилади, холодильник, загальнобудинкове устаткування.

***Література:*** [1, С. 171–181], [7, С. 256–265].

## ***Основні положення теми***

Житлові будинки наповнені великою кількістю різноманітних приймачів ЕЕ. Їх поділяють на дві групи: електроприймачі квартир і електроприймачі загальнобудинкового призначення. У першу групу входять освітлювальні й побутові електроприлади та різноманітне електроустаткування. Другу групу становить електричне устаткування системи життєзабезпечення житлового будинку: силове устаткування вантажних і пасажирських ліфтів, насосів господарського і протипожежного водопостачання, кліматичних і вентиляційних систем, пристроїв димозахисну, машини механічного прибирання сходів і коридорів, електричне обігрівання й освітлення загальнобудинкових приміщень тощо.

Важливим показником електроспоживачів житлових будинків є група за категорію надійності електропостачання. Для електроспоживачів житлових будинків і гуртожитків вона визначається кількістю поверхів. Категорійність поширюється не на весь будинок, а на окремі електроприймачі цього будинку. Приміром, у житлових будинках і гуртожитках понад 16 поверхів заввишки електроприймачі систем протипожежного захисту, сигналізації загазованості, ліфти, аварійне освітлення відносяться до I категорії надійності електропостачання, решта електроприймачів житлового будинку – до другої категорії

***Силові електроприймачі житлових будинків.*** До цієї групи належать пасажирські й вантажо-пасажирські ліфти та різні санітарно-технічні пристрої. У житлових будинках встановлюють два типи пасажирських ліфтів – вантажопідйомністю 350 кГ та 500 кГ. Перші обладнані електродвигунами потужністю 4–4,5 кВт, другі – 7–7,5 кВт. Зазвичай двигуни двошвидкісні. Крім того, ліфтова установка має гальмівний електромагніт і трансформатор для живлення системи керування. Шахти ліфтів освітлюються лампами розжарювання, вимикати які забороняється правилами техніки безпеки незалежно від того, працює ліфтова установка чи ні. Щоб лампи не перегорали при збільшеній напрузі в нічні часи, послідовно з ними включають діоди.

Основними електроприймачами сантехнічних пристроїв є асинхронні короткозамкнені електродвигуни потужністю 0,6–10 кВт. Вони використовуються в електроприводі систем господарського та протипожежного водопостачання, подавання повітря, видалення диму. Крім того, встановлюються допоміжні електроприводи з двигунами або електромагнітами для відкривання шиберів, димових ґраток, вентилів. Усі сантехнічні пристрої обладнують системами автоматичного або дистанційного керування.

## ***Висновки за розглянутою темою***

У житлових будинках наявні дві характерні групи електроприймачів – електроустаткування квартир та електроустаткування загальнобудинкового призначення (освітлення й електродвигуни сантехобладнання).

Загальнобудинкове освітлення створює постійне електричне навантаження, яке працює переважно в темний період доби.

Електричне навантаження від силового загальнобудинкового устаткування здебільшого створюється асинхронними двигунами електричного приводу ліфтів та господарських насосів.

***Контрольні запитання за темою 14:***

1. Надайте загальну характеристику електроприймачам житлових будинків.
2. Як класифікують енергоефективність побутової техніки?
3. Яке електроосвітлювальне обладнання використовують у квартирах?
4. На які класи поділяють електропобутову техніку за типом захисту від ураження електричним струмом?
5. Охарактеризуйте технічні показники побутової техніки.
6. Охарактеризуйте побутові електронагрівальні прилади.
7. Поясніть принцип роботи холодильника.
8. Які позначення наносять на наліпку енергоефективності холодильників?
9. Поясніть електричну схему холодильника.
10. Охарактеризуйте силові електроприймачі загальнобудинкового призначення.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василега П. О. Електропостачання : навч. посібник / П. О. Василега. – Суми : ВДТ «Університетська книга», 2008. – 415 с.
2. Вольдек А. И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов . – СПб. : Питер, 2010. – 350 с.
3. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 137 с.
4. Електротехніка у будівництві : підручник / [А. Є. Ачкасов, В. А. Лушкін, В. М. Охріменко, Т. Б. Воронкова] ; за ред. В. М. Охріменка ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – 2-ге вид., випр. і доп. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 447 с.
5. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії : підручник / В. М. Охріменко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 286 с.
6. Правила улаштування електроустановок. – Харків : Видавництво «Форт», 2014. – 800 с.
7. Теорія систем і системний аналіз : навч. посібник / [А. Є. Ачкасов, В. А. Лушкін, В. М. Охріменко, Т. Б. Воронкова] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ, 2014. – 167 с.

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до самостійного вивчення навчальної дисципліни

**«СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ»**

*(для студентів усіх форм навчання  
освітнього рівня «бакалавр» зі спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електротехнології)*

Укладач **ОХРІМЕНКО** Вячеслав Миколайович,

Відповідальний за випуск *П. П. Рожков*

*В авторській редакції*

Комп'ютерний набір *В. М. Охріменко*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2020, поз. 194 М.

---

Підп. до друку 02.06.2020. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 3,3.

Тираж 30 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.